



Examensarbete
Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Användning av rötrest från kombinerad etanol och biogasproduktion – en jämförelse mellan tre alternativ

*The use of residues from combined ethanol and
biogas production
– a comparison of three alternatives*

Isak Albertsson

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Isak Albertsson

Användning av rötrest från kombinerad etanol och biogasproduktion - en jämförelse mellan tre alternativ

The use of residues from combined ethanol and biogas production – a comparison of three alternatives

Handledare: Lars Brolin, Scandinavian Biogas

Ämnesgranskare: Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Examinator: Bengt Hillring, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad E, teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

ISSN 1654-9392

2008:06

Uppsala 2008

Nyckelord: rötrest, etanol, biogas, hanteringssystem, miljöpåverkan, energiförbrukning, ekonomi

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Abstract

Användning av rötrest från kombinerad etanol och biogasproduktion - en jämförelse mellan tre alternativ

The use of residues from combined ethanol and biogas production – a comparison of three alternatives

Isak Albertsson

Scandinavian Biogas is involved in the planning of a combined ethanol and biogas factory in Karlskoga, Sweden. Besides biogas and ethanol large amounts of digester residues will be produced, about 450 000 liquid tonnes residue (~7,3 % Dry Substance(DS)). The objective of this thesis was to investigate possible uses of the residue from the biogas production process Scandgas^{Ethanol} developed by Scandinavian Biogas, and to derive a methodological approach how to evaluate and compare handling systems. Three systems were proposed and compared in this thesis; spreading of the untreated residue as fertilizer (system 1), dewatering to a higher DS content to reduce transportation before spreading as fertilizer (system 2) and production of a solid fuel by dewatering and drying the residue (system 3). The general conditions for the proposed systems were investigated in terms of practical viability, economical aspects, environmental impact and energy inputs/outputs. The method was exemplified by the specific case of Karlskoga. The methodological framework for the environmental and energy analysis was life cycle analysis theory. The residue was assumed to replace mineral fertilizers or solid fuels. Each system was credited for avoided environmental impact and energy from avoided production/ use of fertilizer/fuel.

Advantages for system 1 were the possibility to market the residue as a certified organic fertilizer whereby the plant nutrients represents a relatively high economical value, and a reduction in global warming emissions due to avoided use of mineral fertilizer. The downsides are large demand for transports and spreading areas. Transport demand is reduced in system 2, but the dewatering involves process chemicals that are both expensive compared to the value of the recycled nutrients and precludes the market for certified fertilizers. It is possible to produce a solid fuel, but the net energy gain is small since the drying process is energy demanding. The economy and the environmental impact are dependent on the fuel assumed to be replaced and the energy source for drying. System 3 seems to be viable both environmentally and economically in Karlskoga since valuable biogas used to produce process heat can be replaced and upgraded to vehicle fuel. The conclusion drawn for Karlskoga is that combustion of the residue might secure the disposal from the start, but recycling of nutrients is desirable from a sustainability perspective. It will be possible to shift the use towards (organic) fertilizer as a market develops.

Sammanfattning

Scandinavian Biogas Fuels AB, Chematur Engineering AB och Karlskoga Energi och Miljö planerar ett bioenergikombinat som vid full produktion ska producera 125 000 m³ etanol och 300 GWh biogas från vete. Detta examensarbete är utfört på uppdrag av Scandinavian Biogas Fuels AB och handlar om hantering av restprodukten, rötrest från biogasproduktion baserad på etanoldrank.

Flödet av rötrest i Karlskoga uppgår vid full produktion till ~450 000 ton flytande rötrest per år motsvarande 33 000 ton torrsubbstans (TS). I rötresten återfinns de växtnäringssämnen som fanns i vetet. En kostnadseffektiv och miljöriktig avsättning för rötresten är en förutsättning för produktionen, därför bör planeringen av rötresthanteringen inkludera i planeringen av en anläggning på ett tidigt stadium.

Tre hanteringssystem utreds i uppsatsen; system 1 är den lösning som är absolut vanligast i Sverige, rötresten sprids obehandlad på åkermark som gödsel. I system 2 avvattnas rötresten till ett högre TS-innehåll innan den sprids som fastgödsel på åkermark. Den tredje systemlösningen som undersöks är möjligheten att tillverka ett fast bränsle genom att avvattna och torka rötresten. Systemen utreds med avseende på praktisk genomförbarhet, miljöpåverkan, energiförbrukning och ekonomiska aspekter både för det generella fallet och för det specifika fallet Karlskoga. Målet var att formulera en metod för utvärdering och jämförelse av hanteringssystem utifrån utredningsarbetet.

Det teoretiska ramverket för analys av miljö- och energiaspekter är livscykelanalys. Den totala energiförbrukningen/produktionen och miljöpåverkan summeras från utmatning ur rötkammare till spridning/förbränning. Rötresten antas ersätta mineralgödsel/bränsle, och den förändring i energiförbrukningen/miljöpåverkan som ersättandet innebär tillskrivs rötresten.

När det gäller de praktiska sidorna av systemen så har system 1 fördelar i att systemet är relativt enkelt, växtnäringen är värdefull och rötresten kan sannolikt också certifieras för ekologisk odling något som kan underlätta marknadsföring. Transporterna är en akilleshäl, det stora behovet av spridningsareal en annan. Vidare kommer det förmodligen också att ta tid att bygga upp en marknad för rötresten vilket förhindrar att systemet kan lösa hela avsättningsfrågan från början. System 2 reducerar transporterna, men avvattningen och andra processteg kräver insatser av kemikalier som dels kan kosta mer än värdet av de återvunna växtnäringssämnena, dels förhindrar att rötresten kan certifieras enligt KRAV och andra certifieringssystem.

I system 3 är energiinnehållet i torrsubbstansen tillräckligt för bränsleproduktion, men den nödvändiga torkningen är energikrävande. Kvoten mellan utvunnet värmevärde och insatt torkenergi är relativt låg så det blir viktigt att avvattna rötresten så mycket som möjligt samt att bara torka till den TS- koncentration som är nödvändig för förbränning och hantering. Det blir också viktigt att energikällan

till torkningen är billig, att använda spillvärme från processer eller rökgaser vore idealiskt. System 3 är relativt komplext jämfört med system 1 och några parametrar inte varit möjliga att ta med i analysen, vilket ger större osäkerheter i resultatet än system 1.

Enligt planerna ska 190 GWh biogas användas i Karlskoga kraftvärmeverk för att framställa el och processenergi (ånga) till etanolfabriken. Samtidigt finns det viss ledig kapacitet i kraftverkets fluidbäddspannor. Utgångspunkten för system 3 är att rötrest ska kunna förbrännas i dessa pannor och ersätta delar av biogasen som istället kan uppgraderas till fordonsbränsle.

Miljöprestanda för system 3 beror på antaganden om energikällan till torkningen samt vilket bränsle rötresten antas kunna ersätta. I Karlskogafallet reduceras utsläppen av fossil CO₂ då biogas ersätter bensin/diesel. Hur mycket utsläppen reduceras beror på antaganden om torkenergin. System 3 reducerar klimatpåverkande utsläpp mest av systemen, medan system 2 ger en netto ökning under gjorda antaganden. Gödselalternativen ser ut att ge en nettoökning av övergödning och försurning jämfört med mineralgödsel, på grund av ammoniakförluster vid spridning. Kvoten utvunnen/sparad primärenergi och primärenergiinsatser i systemen är mellan 2 och 3. Energiomsättningen är störst i det mest komplexa systemet, system 3.

Ett av syftena med uppsatsen är att dra upp riktlinjer för hur hanteringsalternativ kan bedömas på ett metodiskt sätt. Praktiska/tekniska aspekter och lagar/regler tillsammans med en enkel miljö/energianalys kan användas för att grovgallra hanteringssystem. En mer djupgående miljö/energianalys är tidskrävande och därför förmodligen bara värd att göra för de system som bedöms som bäst. Det samma gäller i hög grad den ekonomiska bedömningen som kanske bara ger värdefulla resultat när tydliga genomarbetade alternativ föreligger.

Slutsatsen när det gäller Karlskoga är att förbränningsalternativet är värt att undersöka vidare, dels för att storskalig avsättning då kan säkras från början, dels för att systemet verkar ha jämförelsevis bra miljöprestanda. Möjligheten finns att skifta över avsättningen mot ekologiskt gödselmedel efterhand om en marknad utvecklas. En kombination av förbränning och gödselproduktion ger flexibilitet och förmodligen bättre förutsättningar att få betalt för det värde som rötrestens växtnäringssämnen representerar.

Förord

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Scandinavian Biogas Fuels AB inom civilingenjörsprogrammet Energisystem på Uppsala universitet och Sveriges Lantbruks universitet. Lars Brolin på Scandinavian Biogas har varit handledare, Bengt Hillring vid institutionen för Bioenergi, SLU är examinator och Cecilia Sundberg vid institutionen för biometri och teknik, SLU är ämnesgranskare, Opponent är Jon Olauson.

Jag vill tacka alla som har hjälpt mig att fullfölja mitt examensarbete. Lars Brolin och Cecilia Sundberg förtjänar särskilt tack för all hjälp och alla kommentarer som hjälpt mig att genomföra arbetet. Personalen på Scandinavian Biogas och på Karlskoga Energi och Miljö har varit väldigt hjälpsamma med att svara på frågor och ta fram information. Jag måste säga att jag är positivt överraskad och tacksam över att personer på de företag, institutioner och myndigheter som jag har kontaktat tar sig så mycket tid att diskutera och svara på frågor, jag vill särskilt tacka Biototal AB, Hushållningssällskapet och JTI.

Innehållsförteckning

1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metod och avgränsningar	2
2 Användning av rötrest i jordbruket.....	4
2.1 Marknadsaktörer.....	4
2.2 Lagar och regler som är tillämpliga på rötrest.....	5
2.3 Certifieringssystem.....	7
2.3.1 Certifiering enligt SPCR 120.....	7
2.3.2 KRAV-märkning	8
2.4 Spridningsareal.....	9
2.4.1 Nödvändig areal	9
2.4.2 Tillgänglig areal	10
2.5 Växtnäringsämnenas ekonomiska värde.....	11
2.5.1 Innehållet av makronäringsämnen och växttillgänglighet.....	11
2.5.2 Beräkningsredskap: stallgödselkalkyl.....	11
2.6 Spridning	12
2.6.1 Spridningsteknik.....	12
2.6.2 Kväveförluster i samband med spridning	14
2.6.3 Kväveförluster i samband med lagring.....	16
2.7 Ekonomi	16
2.8 Energibetraktelse på gödselalternativet	16
2.9 Sammanfattning av gödselalternativen	18
3 Användning av rötresten som bränsle.....	19
3.1 Lagar och regler	19
3.2 Rötrestens värmevärde	22
3.3 Torkning.....	23
3.3.1 Olika typer av torkteknik.....	24
3.3.2 Energiebehov till torkning.....	25
3.3.3 Energi till torkning och det effektiva värmevärdet	28
3.3.4 Torkning och miljö.....	29
3.4 Rötrestens förbränningsegenskaper	30
3.5 Ekonomi	30
3.6 Sammanfattning av bränslealternativet.....	31
4 Miljö och energianalys av hanteringssystemen för rötresten	33
4.1 Teori.....	33
4.1.1 Måldefinition.....	35
4.1.2 Funktionell enhet.....	35
4.1.3 Systemgräns och allokering.....	35
4.1.4 Faktorer för olika utsläpps miljöpåverkan.....	37
4.2 Systemkomponenter	38
4.2.1 Transporter	38
4.2.2 Spridning av växtnäring	40
4.2.3 Elenergi	42
4.2.4 Avvattning och polymerer	42
4.2.5 Ammoniakavdrivning (strippning)	43

4.2.6 Rening av vattnet från strippning	44
4.2.7 Torkningsenergi	45
4.3 Alternativsystemen	45
4.3.1 Bränsle	45
4.3.2 Mineralgödsel.....	45
4.3.3 Transporten av mineralgödsel	47
4.4 Primärenergifaktorer	47
4.5 Resultat - energiåtgång och miljöpåverkan från systemen.....	48
4.5.1 Energibalans	48
4.5.2 Klimatpåverkan	50
4.5.3 Försurning och övergödning.....	52
4.6 Känslighetsanalys	52
4.7 Diskussion	54
5 Karlskoga	55
5.1 Användning av rötresten inom jordbruket	55
5.1.1 Lagar och regler	55
5.1.2 Omgivningarna - Potentiell spridningsareal i trakten runt Karlskoga...	55
5.1.3 Rötrestens egenskaper och flöden - gödsealternativet	58
5.1.4 Nödvändiga spridningsareal	58
5.1.5 Transporter och spridning	60
5.1.6 Certifiering av rötresten i Karlskoga	60
5.2 Användningen av rötresten som bränsle i Karlskoga.....	61
5.2.1 Lagar och regler som får betydelse vid förbränning av rötresten.	61
5.2.2 Omgivningen - Karlskoga kraftvärmeverk	61
5.2.3 Rötrestens egenskaper och flöden - bränslealternativet.....	62
5.2.4 Möjligheten att täcka energibehovet för ångproduktion med rötrest....	63
5.2.5 Torkningen av rötresten.....	63
5.3 Miljö & energi.....	64
5.4 Ekonomi	66
5.4.1 Värderingen av växtnäringen från Karlskogaanläggningen.....	66
5.4.2 Transportkostnader.....	67
5.4.3 Avvattning och strippning	68
5.4.4 Värdet av rötresten som bränsle	68
5.5 Resultat Karlskoga	69
6 Sammanfattande diskussion.....	72
7 Slutsats Karlskoga	76
Referenser	77
Bilagor.....	82

1.1 Bakgrund

Biogas har potential att bli ett viktigt alternativ till fossila bränslen. Energiproduktionen från biogas var 2006 ca 1213 GWh, och enligt Svenska Gasföreningens VD Anders Mathiasson kan biogasproduktionen i Sverige tiodubblas till 2020 (Bioenergiportalen 2008). Transportsektorn är den samhällssektorn som är svårast att göra oberoende av de fossila bränslena. Av inrikestransporternas energianvändning 2006 kom ~ 94 % från fossila bränslen. El och biomassebaserade bränslen stod för 3 % vardera (Energimyndigheten 2007a). Det är framför allt som fordonsbränsle som biogas kommer till sin rätt, det finns befintlig teknik för distribution och användning i fordon. Användningen av biogas i fordon utgör dock en mindre del av total biogasanvändning, resten används bland annat till uppvärmning. Användningen i fordon ökade dock från ca 110 GWh 2005 till ca 220 GWh 2006 (Energimyndigheten 2007b & 2008).

I Sverige kommer biogas huvudsakligen från behandling av avfall på avloppsreningsverk, deponier och samrötningsanläggningar. Det är också möjligt att producera biogas kommersiellt från energigrödor. En variant är att kombinera etanol- och biogastillverkning, restprodukten från etanolproduktion, s.k. drank rötas. Då kan det organiska material som inte jästen klarar att bryta ner till etanol utnyttjas och mer energi kan utvinnas ur en given mängd spannmål. En anläggning av den sistnämnda typen planeras av Karlskoga Biofuels AB.

Den planerade anläggningen är ett bioenergikombinat där Karlskoga Energis kraftvärmeverk ska leverera processånga till Chematur Engineering AB: s etanolfabrik, restprodukten efter etanoltillverkningen ska sedan användas som råvara i Scandinavian Biogas Fuel AB:s rötningsanläggning. Planerad produktion är upptill 125 000 m³ etanol och 300 GWh biogas per år, råvaran är upp till 335 000 ton spannmål.

Vid biogasproduktion uppstår oundvikligen en restprodukt, rötresten. Generellt har rötresten en låg andel torrs substans vilket innebär att det blir stora volymer som måste tas om hand vid storskalig biogasproduktion. Eftersom rötresten inte kan deponeras så krävs det system för att få avsättning för den. I Sverige sprids 98 % av rötresten från rötat organiskt avfall (ej avlopp) på åkermark som gödselmedel (Hellström pers. med.). På så sätt återförs växtnäring till jordbruket vilket är bra ur ett kretsloppsperspektiv. Dock är det stora transportarbetet som oftast krävs för att få ut rötresten till jordbruket negativt ur både ett miljömässigt och ett ekonomiskt perspektiv. Rötresthanteringen innebär som regel en stor kostnad för svenska biogasanläggningar, speciellt om de är lokaliserade så att det är långt till jordbruksmarker eller där efterfrågan på organiska gödselmedel är liten. En anläggning av den storleken som det är frågan om i Karlskoga kommer att generera i storleksordningen dubbelt så mycket rötrest som det totalt spreds på jordbruksmark 2006. Total mängd rötrest som spreds 2006 var 277 000 ton (Hellström pers. med.).

Det kan alltså finnas skäl att fundera på om det finns andra lösningar för hantering av rötresten. Detta blir särskilt viktigt vid planeringen av nya storskaliga anläggningar. Om huvudsyftet är att producera energi på kommersiell bas så blir det extra viktigt att ha en strategi för att minimera kostnaderna för rötresthanteringen. Osäkerhet om kostnader och avsättningsmöjligheter innebär ett osäkerhetsmoment i lönsamhet vilket är negativt ur investeringssynpunkt.

En närliggande lösning är att avvattna rötresten från < 10 % torrsubstans (TS) till ~30 % TS och på så sätt minska transportarbetet. Det är något som redan görs på några anläggningar i Sverige (Benjaminsson & Linné 2007). Den fasta rötresten kan sedan användas på samma sätt som fast stallgödsel i jordbruket.

Etanol- och biogasprocesserna klara inte att bryta ner det organiska materialet i spannmålen fullständigt. Analyser visar att det kalorimetriska värmevärdet på rötrestens torrsubstans är ca 18,9 MJ/kg, det är i samma storleksordning som exempelvis halm. En möjlig lösning kan därför vara att förbränna den avvattnade rötresten. Om rötresten kan förbrännas skulle i princip hela energimängden som fanns lagrad i spannmålen ha utnyttjats. Förbränning av rötat avloppsslam sker redan i vissa länder med syftet att reducera slammängderna så mycket som möjligt. Problemet med förbränningslösningen är dock att en torkningsprocess är nödvändig för att uppnå ett användbart effektivt värmevärde, och torkning är väldigt energikrävande.

Andra lösningar än användning som gödsel eller förbränning är möjliga, men det här arbetet syftar till att utreda och jämföra de nämnda alternativen.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utreda de generella förutsättningarna för spridning respektive förbränning av rötrester från storskalig biogasproduktion baserad på i etanol-drunk. Systemen ska analyseras med avseende på energibehov och miljöpåverkan, samt praktiska och ekonomiska aspekter. Utredningen och analysen ska resultera i en metod att bedöma och jämföra hanteringssystem för rötrest. Metoden ska appliceras på Karlskoga bioenergikombinat som en exemplifiering.

1.3 Metod och avgränsningar

Examensarbetet är en systemstudie där tre olika hanteringssystem för rötrest från storskalig biogasproduktion ska jämföras. Det teoretiska ramverket är hämtat från livscykelanalysen.

Litteratur

Litteratur till arbetet har inledningsvis sökts på databaser via SLU:s bibliotek samt i bibliotekets samlingar. Under arbetets gång har behovet av information om specifika frågor uppstått, i det sammanhanget har offentliga databaser hos myndigheter, forskningsinstitut och intresseorganisationer varit ovärderliga.

Exempel som bör nämnas är Jordbruksverket, Statistiska Central Byrån (SCB), Avfall Sverige, JTI och Värmeforsk.

Personlig kommunikation

För att klargöra frågeställningar som uppkommit så har kontakt tagits med författare till rapporter som lästs samt experter på myndigheter, företag och organisationer. Prisuppgifter och data har också samlats in via telefonsamtal i viss utsträckning.

Beräkningar

Beräkningar har gjorts i Excel där inget annat anges. Indata till beräkningarna tar utgångspunkt i information från Scandinavian Biogas egna analysdata på rötresten kompletterade med uppgifter från företagets processingenjörer, SCB m.fl.

För beräkningar på rötrestens värde som gödsel har ett kalkylprogram för värdering av stallgödsel använts, programmet kan hämtas på www.greppa.nu.

För beräkningar på transporter har ett Internet-redskap använts, <http://www.ntm.a.se/ntmcalc/>.

Avgränsningar

Arbetet begränsas till att gälla svenska förhållanden och berör hanteringen av rötad drank baserad på vete. Rötresten antas komma från Scandinavian Biogas process Scandgas^{Ethanol}.

2 Användning av rötrest i jordbruket

Kapitlet börjar med ett avsnitt om de aktörer som en anläggning behöver förhålla sig till om rötresten ska avsättas inom jordbruket. För att skapa och upprätthålla förtroendet för rötresten kan ett kvalitetssäkringssystem vara viktigt, vilket avsnitt 1.2 handlar om. 1.3 handlar lite översiktligt om de lagar och regler som gäller för området. Avsnitten 1.4, 1.5 handlar om spridningsareal och värderingen av rötresten, frågor som med fördel kan utredas ganska tidigt i t.ex. en lokaliseringsprocess.

2.1 Marknadsaktörer

Det finns ett antal aktörer som har betydelse för rötrestens användande i jordbruket. Lantbrukarna och de företag som köper deras produkter är naturligtvis viktiga. Lantbruksrådgivare och lantbrukarnas organisationer är också aktörer som kan vara till hjälp när en marknad ska byggas upp.

Lantbrukarna

Lantbrukarna efterfrågar framför allt information om innehållet av växtnäring, frigörande av kväve, lämpliga spridningstidpunkter och teknik (RVF 2005:10). Det är viktigt att bygga upp ett förtroende för rötresten som gödsel. Att bra information om biogasanläggningens verksamhet kommuniceras till lantbrukarna kan vara ett bra första steg för att skapa förtroende (RVF 2005). Enligt Avfall Sverige är det viktigt att definiera rötresten som en produkt, inte ett avfall i marknadsföringen (Avfall Sverige, 2007). Det är då viktigt att rötresten är väldefinierad med avseende på växtnäringsinnehåll och andra egenskaper och att det finns ett lantbrukskunnande involverat i marknadsföringen.

Ett exempel på hur marknadsföring av organiska gödselmedel kan bedrivas utgörs av Biototal AB, som är ett företag som säljer växtnäring från bi- och restprodukter. Deras marknadsföring bygger på mycket personlig kontakt med lantbrukarna och på att gödselprodukternas positiva egenskaper förutom de rent växtnäringsmässiga förmedlas till kunderna. Biototal arbetar utifrån något de kallar mervärdesberäkningar, det är i korta drag en enkel livscykelanalys som belyser produktens miljöpåverkan och energiåtgång jämfört med mineralgödsel. Långsiktiga positiva effekter på jordbruksmarken såsom exempelvis mullhaltsverkan utreds också (Kjellquist, pers. meddelande).

Marknaden för rötrest avgörs också av typen av jordbruk i närområdet. Är jordbruket dominerat av djurhållning kan tillgång på stallgödsel begränsa intresset för rötresten (Ljungarn, Pers. med.). Sett till karaktären på jordbruken är Stockholms, Uppsalas, Södermanlands, Östergötlands, Örebros och Västmanlands län intressantast i Sverige. Dessa län präglas av hög andel växtodlingsföretag och få småbruk. Djurhållningen är låg jämfört skogslän som Jönköping och Kronobergs län exempelvis (Jordbruksverket a).

Livsmedelsföretagen

För de företag som köper upp spannmål m.m. är konsumenternas förtroende för deras produkter det viktigaste. Därför är det viktigt att det som ska spridas på åkrarna är kvalitetssäkrat med avseende på gränsvärden för tungmetaller, smittämnen och andra föroreningar (RVF 2005:10). Som exempel kan nämnas Lantmännens restproduktspolicy, där står det att kvalitetssäkringssystemet ska säkerställa spårbarhet, kunskap om lager, transport och spridningsverksamhet. Att produkterna är hygieniserade och att det bedrivs systematiskt arbete för att minimera innehåll av metaller och organiska föroreningar är också viktiga punkter (Lantmännen, 2007). Ett annat kvalitetssäkringssystem är Avfall Sveriges certifieringssystem SPCR 120 som syftar till att öka förtroendet för rötrest som gödselprodukt. Svenskt Sigill godkänner numera rötrest som är certifierad enligt SPCR 120 (Elmqvist, pers. med.). Utgångspunkten för de stora livsmedelsindustrierna/uppköparna av svenska jordbruksprodukter är att ingående produkter i rötrest ska ha sitt ursprung i livsmedelskedjan (RVF, 2005).

Lantbruksrådgivare och lantbrukarorganisationer

Flera källor betonar vikten av förtroende hos lantbruksrådgivare eftersom dessa är en viktig länk till lantbrukare. Ett sätt kan vara att genomföra fältförsök på rötresten i samarbete med lokala rådgivare och organisationer för att få konkreta resultat att hänvisa till (RVF 2005).

Spridningsutrustning för stallgödsel hyrs ofta in av lantbrukarna och då det är samma utrustning som används till spridning av rötrest bör ett samarbete med maskinringar eller maskinstationer vara viktigt i ett marknadsföringsperspektiv. Det har påpekats att information behövs för att skapa förtroende även hos maskinringarna eftersom rötrest ofta förknippas med avloppsslam något som kan påverka kostnaden för hyra av utrustningen (Breid R, pers. med.).

Biogasanläggningar:

I samband med examensarbetet har några större anläggningar kontaktats på telefon. Största transportavstånden till kund varierar mellan 2-5 mil. Kundkretsen har antingen arbetats upp över tid eller så anlitas en entreprenör som tar han om distributionen och kontakt med mottagarna av rötresten.

2.2 Lagar och regler som är tillämpliga på rötrest

Den viktigaste direkta miljöpåverkan rötresten kan ha vid användning som gödselmedel förutom utsläpp från transporter är övergödning från näringsämnesläckage. En annan påverkan kan vara ammoniakavgång, som förutom övergödning kan bidra till markförsurning (www.greppa.nu). Denitrifikation kan ge läckage av kväve och avgång av lustgas som är en starkt klimatpåverkande gas (Jordbruksverket, b). För att minska påverkan från spridning av stallgödsel och andra organiska gödselmedel regleras området i miljöbalken (ref: SFS 1998:808), och i jordbruksverkets förordningar. En viktig förordning är SJVFS 2004:62 om miljöhänsyn i jordbruket vad avser växtnäring.

Bestämmelser om tillförsel av näringsämnen (SJVFS 2004:62) som berör spridning av rötrest.

- Fosfor får tillföras till en total mängd av 22 kg/ha spridningsareal och år, beräknat på ett genomsnitt under en femårsperiod, (8 § SJVFS 2004:62).
- Kvävetillförseln är beroende av om området är klassat som känsligt område och går i korthet ut på att kvävetillförseln ska begränsas så att den tillgodoser avsedd grödas behov så att den kan utnyttja produktionspotentialen på växtplatsen. Större delen av kustnära områden samt slättlandskapen runt de stora sjöarna i mellan Sverige räknas som känsliga områden.
- Det är förbjudet att sprida organiska gödselmedel i känsliga områden under perioden 1 januari – 15 februari (25 §)
- I 22-28 § anges försiktighetsmått vid spridning av gödselmedel. Här anges restriktioner för olika perioder under året och platser i landet. Framför allt syftar de till att minska avrinning av näringsämnen från frusen eller vattensjuk mark. Exempelvis ska all organisk gödsel brukas ner samma dag det sprids (22 §) under perioden december-februari, .
- Jordbruksföretag har anteckningsskyldighet när de tar emot organiska gödselmedel, om fosforinnehåll och leverantör.
- En konkret gräns för kvävetillförsel anges i EU:s nitratdirektiv. Enligt detta får inte totalkvävetillförseln överstiga 170 kg/ha åkermark och år i genomsnitt för en femårsperiod (www.greppa.nu).
- Rötrest som innehåller animaliska restprodukter får inte spridas på vall enligt animaliska biproduktsförordningen (artikel 22), rötad drank bör kunna spridas på vallodling.

Lagring av stallgödsel regleras av förordningen (1998:915) om miljöhänsyn i jordbruket. Det innebär bl. a. att lagringskapaciteten för gödsel ska täcka minst 10 månaders produktion. Samma regler gäller för rötrest som för stallgödsel (Benjaminsson & Linné 2007). Fast rötrest som kan staplas till minst 1 m får lagras tillfälligt på den åker det ska spridas på om det inte innebär risk för läckage till ytvatten eller dricksvattentäckt. För längre perioder ska lagring ske på gödselplatta (Jordbruksverket b). Lager för flytande gödsel/urin/rötrest ska täckas om det befinner sig i något av de känsliga områdena, och påfyllningen ska ske under täckningen. Täckningen kan vara svämtäcke eller duk/tak som effektivt minskar ammoniakförluster. (7 § pkt 2 & 3 samt § 8 i förordning 1999:15).

Fosforbegränsningen medför att spridningen kan behöva planeras på lite längre sikt. Det är möjligt att förrådsgödsel med fosfor, upp till 153 kg får spridas vid ett och samma tillfälle (SNFS: 1994;1998). Reglerna hindrar inte att fosfor fördelas efter behov inom en spridningsareal, det kan vara ekonomiskt gynnsamt att gödsel sprids på de delar av ett område som har lågt fosforinnehåll i marken (Linder, pers. kommunikation). Men för en anläggningsägare som ska planera rötresthantering är utgångspunkten de begränsningar som reglerna ger.

2.3 Certifieringssystem

Kvalitetssäkring av rötresten är ett viktigt steg i uppbyggnaden av en marknad, två certifieringssystem är aktuella för rötrester.

2.3.1 Certifiering enligt SPCR 120

SPCR120 skapades på initiativ av dåvarande RVF (Avfall Sverige). Certifieringsreglerna beslutas i en styrgrupp som består av intressenter i rötresthantering såsom biogasanläggningar, lantbruksföreträdare m.fl. Certifiering av rötrest enligt SPCR 120 sköts av SP (Sveriges Tekniska Forsknings Institut). För att en biogasanläggning ska få sin rötrest certifierad ska ett antal villkor uppfyllas. Det centrala dokumentet för den här aspekten av rötresthantering är SPCR120 som finns tillgängligt på SP:s hemsida <http://www.sp.se> under publikationer. I stort sett är all rötrest från källsorterat organiskt avfall möjligt att certifiera enligt SPCR 120. Det är dock viktigt att inte avfallet innehåller skadliga eller oönskade ämnen som kan påverka gödselns kvalitet negativt, detta för att skapa och upprätthålla förtroendet för återvinning av organiskt avfall inom jordbruket. Avfall från avloppsbehandling innefattas inte av certifikatsystemet.

Ansökan om certifiering inleds med att anläggningen tar kontakt med certifieringsorganet SP och bokar in ett besiktningbesök. Certifieringen föregås av ett kvalifikationsår som inleds då SP gör sitt första besök på anläggningen. Under kvalifikationsåret ska ansökan kompletteras med:

- tekniskt underlag (provtningsrapport (er) mm)
- beskrivning av tillverkarens egenkontroll

Nedan följer en kortare redogörelse för vad som ingår under respektive punkt.

Tekniskt underlag

Två dokument ska upprättas, en innehållsdeklaration och ett dokument med råd och anvisningar för användningen av gödseln i jordbruk. Provrappport (er) på slutprodukten utfärdade av opartiskt organ under kvalifikationsåret ska ingå i det tekniska underlaget. Vidare ska en processbeskrivning ingå med ingående enheter och var tillverkningen sker.

Innehållsdeklarationen

I innehållsdeklarationen ska följande anges

- Produktionsanläggning
- Produktionsansvarig
- Ingående råvaror, tillsatsmedel och processhjälpmedel
- Intyg att ställda miljökrav på tungmetaller, smittskydd och synliga föroreningar uppfylls
- Datum då redovisade parametrar senast reviderades.

Näringsinnehållet ska redovisas baserat på ackrediterade analysresultat.

Anvisningar och råd för användningen av rötresten.

Mottagare av rötresten ska få information om hur mycket som kan spridas vid olika tillämpningar.

Tillverkarens egenkontroll

I samband med ansökan eller under kvalifikationsåret ska anläggningen skapa ett dokument som beskriver hur kvalitén på rötresten säkerställs genom fortlöpande egenkontroll. I korthet ska ambitionen för rötrestproduktens kvalitet fastställas i en kvalitetspolicy. Anläggningen ska ha en representant som har ansvar och befogenheter att upprätthålla den avsedda kvalitén. Anläggningen ska ha rutiner för kontroll (provtagning) av inkommande material med avseende på föroreningar som kan påverka kvalitén. Kontroll av slutprodukten ska också ske i en omfattning som säkerställer att kvalitetskraven uppfylls. Dokumentation och journalföring är viktigt. Inkommande och utgående mängder, analysresultat, avvikelser och åtgärder m.m. ska journalföras och sammanställas en gång per år. Dessutom ska ett antal processparametrar mätas och dokumenteras. För detaljer om vilka parametrar m.m. som avses så hänvisas till certifieringsreglernas kapitel 4 & 5.

Faktorer som smittskydd, grobara frön och synliga föroreningar regleras också av SPCR120. För en större anläggning ska varje år tas minst fyra bakteriologiska prov och fyra (8 under kvalifikationsåret) prov avseende metaller m.m.

Nivåer och restriktioner för spridning av certifierad rötrest

För att undvika smittspridning finns regler gällande hygienisering av rötresten. Eftersom inga animaliska biprodukter rötas så klassas en drankrötningsanläggning som en B eller C anläggning enligt SPCR 120. Kravet på hygienisering är att substratet ska ha genomgått minst 6 timmar vid 55°C. Skillnaden mellan B och C är appliceringen av rötresten, rötrest från en C-anläggning bör spridas på tekniska grödor och stråsåd. För en B-anläggning gäller inga restriktioner gällande på vilka grödor rötresten får spridas. På en B-anläggning ställs det krav på skydd mot återkontamination av rötresten. Det innebär att en hygieniseringskontroll har gjorts på rötresten under kvalifikationsåret avseende smittämnen och en teknisk besiktning av anläggningen. Transportfordon får inte heller transportera ingående och utgående substrat utan att rengöring sker mellan transporterna.

2.3.2 KRAV-märkning

KRAV-märkning har nämnts av flera aktörer som kontaktats under arbetets gång som ett sätt att förbättra avsättningsmöjligheterna och priset på rötresten eftersom det finns ett behov av effektiva gödselmedel inom ekologiskt lantbruk. För mer utförlig information om KRAV:s regler hänvisas till certifieringsorganets hemsida (<http://www.araneacert.se/>).

Relevant för det här examensarbetet är att rötrester av enbart spannmål eller drank kan betraktas som rester från växtproduktion och bör i princip kunna godkännas som gödsel till KRAV-odling (Quintana. pers. med.) Ett exempel på detta är Svensk biogas anläggning på Händelö i Norrköping, anläggningen rötar drank och har fått sin rötrest KRAV-godkänd.

En viktig sak att ha i åtanke i samband med rötning av spannmålsprodukter är att rötresten som kan innehålla genmodifierade grödor inte kan KRAV-godkännas. Reglerna innehåller också precis som SPCR 120-reglerna listor på godkända processhjälpmedel, polyakrylamidpolymerer är inte upptagna på listan och det är föga troligt att de skulle godkännas enligt KRAV.

Det finns inga generella regler avseende processutformning för KRAV-certifiering av rötrest på samma sätt som i SPCR120. Kretsloppsfrågan, livsmedelssäkerhet och möjligheten att kontrollera rötrestens kvalitet är viktiga aspekter i bedömningen av möjligheterna att godkänna rötresten som ett gödselmedel för ekologisk odling. Vanligt förekommande processhjälpmedel i biogasproduktion som järnklorid ska inte vara något hinder för ett KRAV-godkännande.

Ett KRAV-godkännande kan komma till stånd som ett resultat av en diskussion om det enskilda fallet mellan anläggningen och ett certifieringsorgan, exempelvis Aranea Certifiering AB. En certifiering enligt SPCR120 kan underlätta för en KRAV-certifiering eftersom det visar att produktionen är kontrollerad med avseende på metaller och smittskydd (Björling, pers. meddelande).

Lantmännen lantbruk som är en stor uppköpare har en restproduktspolicy. Tre nivåer finns standard, premium och eko finns. För standard ska ett kvalitetssäkringssystem finnas och som verifieras av tredje part enligt SS-EN 45011/45012. På fält där Premiumprodukter odlas ska inget konventionellt slam ha spridits sedan 2000, andra restprodukter som uppfyller kraven till Standard kan spridas efter särskilt avtal. För Eko gäller att bara KRAV-godkända gödsel får spridas.

2.4 Spridningsareal

2.4.1 Nödvändig areal

Mängden rötrest som kan spridas per hektar beror på växtnäringsinnehåll, grödans växtnäringsbehov samt lagstadgade begränsningar. Enligt lag (se avsnittet om lagar och regler) får inte mer än 22 kg P/ha år tillföras i genomsnitt över en femårsperiod, för total-kvävet ligger en begränsning på 170 kg/ha år. På en mer avancerad beräkningsnivå kan förutsättningar som kalium och fosforklass spela viss roll för hur mycket rötrest som är lämpligt att tillföra, men det ligger utanför gränserna för vad som kan behandlas i detta examensarbete. Här är utgångspunkten de gränser som anges i förordningar och lagar.

Den enklaste utgångspunkten för att få en uppfattning av den nödvändiga spridningsarealen verkar vara att utgå från fosforbegränsningen, och sedan se hur väl kvävebehovet uppfylls av den mängden rötrest. Tabellen (figur 1) visar hur växtnäringsbehovet varierar beroende på gröda och önskad skördenivå.

Beroende på rötrestens sammansättning så passar den mer eller mindre väl in på de NPK och eventuellt S förhållanden som normalt sprids med mineralgödseln, vilket kan bli ett problem om avsikten är att gödsla enbart med rötrest. Om avsikten är att täcka kvävebehovet och fosforinnehållet är högt så kan spridningen behöva planeras över en längre tidsperiod. Exempelvis kan rötrest spridas med avseende på kvävebehovet ett par år, sedan kompletteras bara kvävebehovet med mineralgödsel under den tid som krävs för att fosforbegränsningen ska uppfyllas.

Gröda	Skörd, ton/ha						
	3	4	5	6	7	8	9
Höstvete bröd, södra Götaland			115	130	145	160	175
Höstvete foder, södra Götaland			100	115	130	145	160
Höstvete bröd, norra Götaland & Svealand			130	145	160	175	190
Höstvete foder, norra Götaland & Sveal			105	120	135	150	165
Rågvete, södra Götaland			95	110	125	140	155
Rågvete, norra Götaland & Svealand			100	115	130	145	160
Råg/höstkorn, södra Götaland			75	90	105	120	135
Råg, norra Götaland & Svealand			75	90	110	130	
Vårvete		105	125	145	165		
Korn, södra Götaland		70	85	100	115	130	
Korn, norra Götaland & Svealand	60	80	100	115	130		
Korn, Norrland	60	80	100				
Havre, södra Götaland		60	75	90	105	120	
Havre, norra Götaland & Svealand	50	70	90	105	120		

Figur 1 Riktgivor för kvävegödsling stråsäd. (Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling och kalkning 2007)

2.4.2 Tillgänglig areal

Att få fram generella data för jordbruksarealen i ett län eller en kommun är inte något större problem. Allmänt tillgängliga publikationer finns hos SCB och Jordbruksverket. Lokala jordbruksrådgivare är även här en bra källa till information. Det som har visat sig svårt är att få fram mer exakta lokala data på markanvändning. En annan svårighet är att uppskatta hur stor andel av jordbrukarna på den tillgängliga arealen som är intresserade av rötresten som gödslingsmedel. Under de samtal med olika aktörer som skett under arbetets gång har det bland annat framkommit att avsättningspotentialen för rötresten blir begränsad i områden där gårdarna har egen stallgödsel. För anläggningar av den typen som är detta arbetes fokus är jordbruksbygder med utpräglad spannmålsproduktion och låg djurhållning idealt. Det är framför allt gårdar med enbart mineralgödsling som det bör fokuseras på.

Den tillgängliga arealen begränsas också av hur långt det är ekonomiskt möjligt att transportera rötresten. Enligt Tomas Kjellquist på BioTotal AB är det rimligt att anta att 10-30 % av en mineralgödslad spannmålsareal kan vara tillgänglig som spridningsareal på 1-3 års sikt om allt görs rätt i marknadsföringen från början. På längre sikt (3-5 år) tycker han att 50-60 % borde vara rimligt.

2.5 Växtnäringens ekonomiska värde

Rötrest kan betraktas som ett snabbverkande gödselmedel med en effekt motsvarande mineralgödsel (RVF, 2005). För att kunna utreda den ekonomiska sidan av rötrestalternativet krävs en metod att bedöma värdet av näringen i rötresten. Det finns ett flertal parametrar som är av vikt för värdet:

- innehållet av makronäringsämnen
- kvävet växttillgänglighet
- kostnader vid spridning
- markpackning
- transport och lagringskostnader

2.5.1 Innehållet av makronäringsämnen och växttillgänglighet

När det gäller kväveinnehållet i rötresten så är det direkt växttillgängligt ammoniumkvävet som är av intresse för bönderna (Salomon, pers. meddelande). Därför bör värderingen av kväveinnehållet utgå från detta. Fosfor- och kaliumandelarna kan anses som helt växttillgängliga och värderas mot de billigaste P resp. K gödselmedlen. Aktuella priser har hämtats hos Lantmännens växtnäringssäljare. Valet av spridningstidpunkt och teknik påverkar kväveförlusterna och därmed den kväveeffekt som kan räknas in i rötrestens värde. Ju mer gödseln exponeras för luft desto mer avdunstar ammoniumet och därmed värdet. Spridning i samband med sådd på våren eller i växande gröda ger bäst effekt (Baky et al 2006; Hansson, pers. med.)

2.5.2 Beräkningsredskap: stallgödselkalkyl

Flera av faktorer som kan påverka gödselns ekonomiska värde är svåra att räkna på för en lekman, exempelvis markpackning eller mineralisering av organiskt kväve. På webbplatsen www.greppa.nu finns därför ett värdeberäkningsprogram som kan laddas ner. Visserligen är programmet avsett för stallgödsel, men eftersom parametrarna går att variera i stor utsträckning så kan det användas för att ge en uppskattning av värdet på rötrest också. Värdet räknas ut på gårdsnivå på samma sätt som JTI föreslår i en rapport (Rodhe et al 2006). Metoden går i princip ut på att nettovärdet på rötresten är värdet av ingående näring räknat som mineralgödsel minus de kostnader som är förbundna med spridning och kväveförluster. Det värde som återstår när saker som markpackning och växttillgänglighet har dragits av från värdet av näringsämnena ska täcka transporter och eventuella lagringskostnader som kan uppstå då spridningssäsongen är begränsad, samt eventuell vinst för anläggningen.

I programmet blir rötrestens värde högst om den sprids när växterna kan utnyttja kvävet ordentligt och förlusterna minimeras. Markpackning påverkar också resultatet mycket, liksom val av gröda. Spridningsområdets jordart får stor betydelse, sandiga jordar är minst känsliga och styv lera känsligast. Värdet på skörden har betydelse för hur programmet beräknar markpackningskostnaden. I programmet kan spridningsteknik väljas. Tankvagn med bandspridningsaggregat är en tillgänglig och vanlig teknik för spridning av flytande stallgödsel därför väljs det alternativet för obehandlad rötrest här. Den avvattade rötresten antas spridas

med fastgödselspridare. Nedbrukningstiden har mindre betydelse för det ekonomiska värdet, men miljöpåverkan från spridningen minskar om rötresten kommer ner i jorden fort. Värdet är som högst om rötresten kan spridas när förutsättningarna är optimala, därför får tillgängligheten på spridningsutrustning betydelse för ekonomin i systemet (Kjellquist pers. med). Se 5.7.1 för exempel på kalkylens värdering av rötresten.

Det går att ifrågasätta rimligheten i att använda en kalkyl baserad på stallgödsel för att bedöma värdet av rötrest. Förfrågningar hos olika experter pekar dock på att redskapet ger rimliga svar även för rötrest. Flytgödsel från svin är den typ av gödsel som bör väljas i programmet då kvävesammansättningen liknar rötrest generellt (Linder, pers. med.). Eftersom rötrest ofta har högre pH än stallgödsel kan ammoniakavdunstningen underskattas något om man utgår från stallgödsel (Salomon pers. med).

2.6 Spridning

2.6.1 Spridningsteknik

I figur 2 ses en gödseltunna med släpslangsramp där flytande gödsel sprids med så lite kontakt med luften som möjligt, vilket minskar kväveförlusterna. Den andra bilden visar bredspridning, en billigare variant men med sämre kväveeffekt då ammoniak avdunstar i högre grad (www.greppa.nu). För att inte det växttillgängliga kvävet ska gå förlorat till stor del så måste rötresten myllas ner kort efter spridningen, ett myllningsaggregat som myllar ner gödseln direkt vid spridning är en lösning.



Figur 2. Spridning med släpslangsslaggregat, gödseln får god kontakt med jorden direkt. (Källa: www.Maskinring.se)



Figur 3. Bredspridning (Källa: www.sonnys.se)

Då tunnan är tung kan markpackning bli ett problem, om aggregaten kopplas ihop med ett matarslangsystem (figur 4) så försvinner behovet av gödseltunna och markpackningen kan minskas.



Figur 4. Matarslangsystem med nedmyllning (källa: JTI)



Figur 5. Spridning av fastgödsel aktuell teknik för den avvattade rötresten
(källa: www.wikipedia.org)

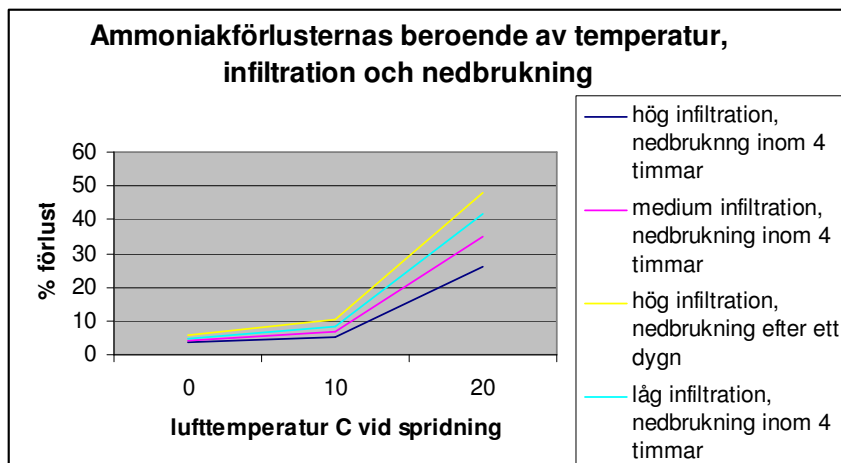
Alla lantbrukare har inte tillgång till spridningsutrustning för flyt- eller fastgödsel, maskiner och arbetskraft förmedlas via maskinringar (www.maskinring.se). En prisförfrågan hos 5 maskinringar visar på en spridd prisbild. Ett genomsnittspris på 20-23 kr/m³ för flytande och ca 30 kr/ton för fast rötrest är ett rimligt antagande för detta arbete om det förutsätts att påfyllning kan ske i anslutning till fältet. Släpslängsaggregat eller nedmyllningsaggregat kostar oftast ytterligare några kronor per m³. En synpunkt som kan vara värd att notera i sammanhanget är vikten av att entreprenören har förtroende för att produkten inte medför några smittorisker osv. för att få ett bra pris på spridningen (Breid, pers. meddelande). Priserna är överslag som på vad som gällde säsongen 2007, spridningspriset är förmodligen ändå en förhandlingsfråga i en verklig situation, det kan ju till och med vara en idé att ha en egen spridningsorganisation för en stor anläggning.

2.6.2 Kväveförluster i samband med spridning

Att redogöra för alla faktorer som spelar roll för förlusterna i detalj ligger utanför möjligheterna i detta examensarbete. Kort kan det sägas att fyra faktorer spelar särskilt stor roll; medeltemperaturen vid spridningen, infiltrationen i jorden, tiden mellan spridning och nedbrukning eller nederbörd samt själva nedbrukningen/nederbörden. Optimalt är temperaturen ca 5°C utan vind, marken inte alltför blöt, ett lätt regn samt att rötresten harvas/plöjs ner direkt efter spridningen. Bredspridning en torr blåsig varm sommardag är då motsatsen, uppemot 90 % av ammoniumkvävet kan då gå förlorat (Brentrop et al. 2000). Ammoniakavgång bör minimeras både för att det är miljöpåverkande och för att värdet av gödslingen minskar.

Brentrop et. al (2000) har beskrivit en metod för förlustuppskattningar utifrån nämnda faktorer. Metoden utgår från en maximal potentiell förlust som beror på temperatur och infiltration. Förlustpotentialen reduceras om gödseln brukas ned eller vattnas ner. I figur 7 har förlusterna räknats ut utifrån den föreslagna metoden.

Antaganden som gjorts är att ingen nederbörd faller under spridningen och att ca 2 % av $\text{NH}_4\text{-N}$ förloras efter nedbrukning (Brentrup et al. 2000).



Figur 6. Ammoniakförluster i förhållande till omgivningens temperatur

Om rötresten sprids på vår eller höst, helst i samband med regn och brukas ner (harvning) så fort som möjligt är en ammoniakförlust på 5-10 % ett rimligt antagande utifrån den ovan nämnda metoden (se figur 6). För en avvattnad rötrest blir harvning särskilt viktig eftersom den inte kan rinna ner i jorden av sig själv, den näst översta blå kurvan i figur 6 motsvarar ungefär förlusterna för en avvattnad fraktion om den brukas ner strax efter spridning. I en JTI-rapport (Berg, 2000) visar försök på att ca 4-7 % av $\text{NH}_4\text{-N}$ avgick under de första 4 timmarna efter spridning av flytande rötrest. Ammoniakförluster vid mineralgödselspridning är ca 1 % för de i Sverige vanligaste gödningsmedlen (Brentrup et al.).

Lustgas, N_2O är en stark klimatpåverkande gas. Jordbruksaktiviteter är den största källan till antropogena N_2O -utsläpp (IPCC). Av jordbrukets utsläpp står användning av gödsel för ca 80 % (Brentrup et. al 2000). Det är de mikrobiologiska processerna denitrifikation och nitrifikation i marken som orsakar utsläppen från kvävegödsling. Sambanden för hur mycket kväve som förloras i form av N_2O är komplexa, platsspecifika och osäkra. Trots osäkerheterna används en uppskattning av kväveförluster i form av dikväveoxid på 1,25 % av totalkvävet av bland andra IPCC- Intergovernmental panel on Climate Change (Brentrup et. al 2000).

Nitratläckage är än mer komplicerat att beräkna så det lämnas därhän. Meningen med reglerna för spridning av gödselmedel är bland annat att begränsa nitratläckage, om de följs kan ett antagande om att miljöpåverkan från rötresten minimeras på det området.

2.6.3 Kväveförluster i samband med lagring

Försök gjorda av JTI har visat att ca 19 % av $\text{NH}_4\text{-N}$, 17 % av total kvävet förlorades under 5 månaders lagring av flytande rötrest under svämntäcke (Berg, 2000). Effektiv täckning är en merkostnad, men kväveförlusterna kan minskas kraftigt, till ca 2 % (Berg 2000; Benjaminsson & Linné, 2007). I känsliga jordbruksområden är dessutom täckning ett krav (se avsnitt 1.2).

2.7 Ekonomi

Fyra biogasanläggningar, varav tre certifierade, tar i dagsläget betalt för sin rötrest medan fyra certifierade och fem ickecertifierade betalar för att bli av med rötresten (Avfall Sverige, 2007). Några anläggningar kontaktades i arbetet med den här rapporten, de flesta tillämpar modellen där värdet av växtnäringen med avdrag för spridningskostnader m.m. för att avgöra rötrestens värde. Två anläggningar uppgav att de betalar i storleksordningen 70 till 100 kr/m³ för att bli av med sin rötrest, en avsevärd andel av driftskostnaderna för båda anläggningarna. En av anläggningarna som tar betalt för sin rötrest får ca 5 kr/m³ av lantbrukaren. Då står anläggningen för transport via pipelines. Växtnäringsvärdet är reducerat m.a.p. förluster av ammoniak och ökade hanteringskostnader. En annan anläggning tar ca 18-19 kr/ton, men hanteringen går ändå med ca 30 kr förlust per ton pga. transporter och lager. En anläggning som har fått sin rötrest KRAV godkänd låter en entreprenör sköta hanteringen, nettoförlusten per ton är ca 44 kr.

Transporterna är den stora kostnaden, i varje fall för ett system där rötresten inte avvattas. Ett antagande om ca 750 kr/h för lastbilstransport ger en 24 kr/ton för et medeltransportavstånd på 22 km (Benjaminsson & Linné, 2007) . Ett alternativ är pumpning via pipeline där kostnaden uppges till ca 17 kr/ton för en 10 km lång ledning (Benjaminsson & Linné, 2007) . Dock bör TS-halten inte vara högre än 4,5 % för att hålla det pumpbart i systemet (Hansson pers. med.), något som kan ses som en begränsning med den systemlösningen.

Lagringskostnader beror på hur systemet ser ut, i vissa fall har lantbrukarna egna gödselbrunnar, i andra fall har biogasanläggningar varit med och finansierat lager. Uppgifter om kostnader för lagring är knapphändig i tillgänglig litteratur, den beror ju också på vilken typ av lager som byggs. En plastduksklädd grop är billigare än en betongbrunn, men å andra sidan är livslängden kortare (Benjaminsson & Linné 2007). Investeringskostnaden för en lagringsbrunn på 5000 m³ anges till 109 kr/m³.

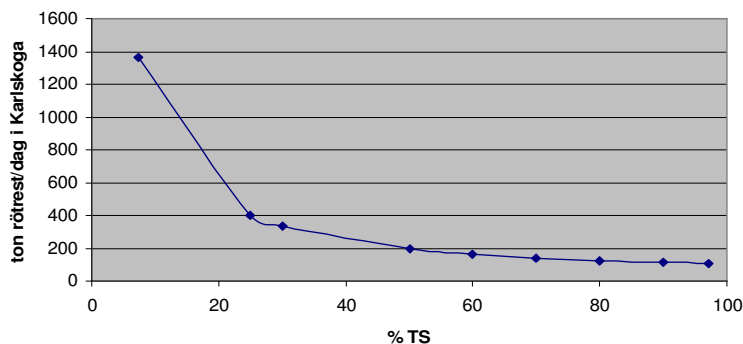
En enkel värdering av rötrestens näringsämnen återfinns i kapitlet om Karlskoga.

2.8 Energibetraktelse på gödselalternativet

I kapitel 4, miljö och energianalys på hanteringssystemen kommer systemens kostnad i form av energi och miljöpåverkan utredas närmare. Avsikten med det här avsnittet är mest att ge en översikt över de moment som ingår i gödselalternativet som kommer att få stor betydelse för energiförbrukningen och därmed kostnaderna i systemet.

Det finns två grundläggande varianter för spridning av rötrest. Antingen så avvattas rötresterna med lämplig teknik, vilket medför en kostnad i form av energiåtgång och eventuella insatsvaror. Den stora vinsten är att transportbehovet minskar med ökande TS-halt. En annan variant är att transportera ut rötresten som den är ur røtkammaren med tankbil. Røtresterna kan också pumpas till lantbruket i pipelines, något som tillämpas vid två anläggningar i Skåne, men det förutsätter en

mängd røtrest som en funktion av TS-halten



Figur 7. Illustration på mængden røtrest i förhållande till TS-halt.

Transporterna kommer att utgöra en stor kostnad. En bra lokalisering i förhållande till jordbruksmarker är viktig för att hålla kostnaderna nere. För att göra överslagsräkningar på transporterna behövs ett medeltransportavstånd. I litteraturen föreslås en metod som gäller för ett antaget cirkulärt avsättningsområde med anläggningen i centrum (figur 8). För en mer komplicerad lokalisering skulle metoden kunna användas om data på markanvändningen i en tänkt cirkel finns tillgängliga, exempelvis vis ett GIS-program.

$$Dd = WF * \sqrt{\frac{Ra}{200\pi * n(r) * PU}}$$

Dd = medeltransportavståndet (km)
 Ra = arealbehovet för att sprida røtresten (ha)
 $n(r)$ = andelen åkermark som funktion av avståndet r till centrum
 WF = slingerfaktor, omvandlar fågelväg till verkligt avstånd
 PU = andel åkermark som är tillgänglig för spridning

Figur 8. Beräkningsmetod för medeltransportavstånd (Berglund & Börjesson, 2003)

Eftersom vägnätet sträckningar och förgreningar gör att det reella transportbehovet är längre än fågelvägen behövs någon form av faktor som kan approximera detta. Berglund & Börjesson (2003) föreslår en slingerfaktor på 1,5. En enkel men arbetsintensiv metod att få fram medeltransportavståndet är att ta ett medelvärde av avståndet till så många orter så möjligt inom det tänkta avsättningsområdet. Då

mängden rötrest som ska transporteras samt ett medeltransportavstånd är känt kan ett överslag på transportarbetet räknas ut.

Energiförbrukningen i spridningsarbetet kan räknas ut med hjälp av data på bränsleförbrukning per hektar för olika moment som fyllning, spridning etc. Mängden som ska spridas per hektar baseras på växtnäringsinnehållet i rötresten och den önskade tillförseln av växtnäring.

2.9 Sammanfattning av gödselalternativen

Rötad drank har med de förutsättningar som gäller i den här rapporten goda möjligheter att användas i jordbruket. Marknaden kan utvecklas i samarbete med aktörer som lantbruksrådgivare, jordbrukare och jordbruksanknutna företag. För att bygga upp förtroende för rötresten och förbättra möjligheterna att ta betalt för växtnäringen bör någon form av kvalitetssäkring/certifiering övervägas. I projekteringen av en biogasanläggning är det viktigt att ha så mycket som möjligt av kontrakt och liknande färdigt på ett tidigt stadium eftersom det underlättar i kontakt med banker/investerare. Det går inte att få rötresten definitivt godkänd enligt certifieringssystemen innan produktionen har börjat. Det kan uppfattas som ett osäkerhetsmoment i avsättningsmöjligheterna för rötresten ur investeringssynpunkt. Å andra sidan så kan en ny anläggning anpassas på förhand för att uppfylla ställda krav om certifiering ses som en viktig del av marknadsföringen av rötresten som gödsel.

Enkla metoder för att göra överslagsberäkningar på nödvändig areal och på det ekonomiska värdet av rötrestens växtnäring har föreslagits ovan. Förutsättningar för att kunna beräkna är att relevant information om växtnäringsinnehåll i rötresten och tillgängliga jordbruksareal är kända. Data på jordbruksareal som en funktion av avståndet från en viss punkt skulle vara väldigt användbart i utredningen av avsättningspotential i ett område. Allra helst ska informationen om arealens fördelning föreligga i någon form av GIS-data/program för att underlätta bedömningen av potential i ett område.

Reglerna visar på att arealbehovet främst påverkas av fosfor eftersom bara 22 kg/ha och år får tillföras, något som kan verka begränsande på avsättningsmöjligheterna. Anläggningens lokalisering är också en viktig eftersom transportkostnaderna kan förväntas vara en stor kostnadspost. Utifrån kontakter med anläggningar och litteraturen kan slutsatsen dras att rötresthanteringen idag generellt är en stor kostnadspost även för dem som kan ta betalt för sin rötrest. Det gäller även om rötresten är certifierad. Kostnaderna för markpackning/spridning, transporter och lager uppväger värdet av växtnäringsämnen. Avvattning minskar transportkostnader, men ett system med användning av polymerer i avvattningen kan dock begränsa möjligheterna att få rötresten certifierad.

3 Användning av rötresten som bränsle

Syftet med detta kapitel är att utreda förutsättningarna för förbränning av rötrestens torrsubstans. Ett motiv till att förbränna rötresten kan vara att bristande jordbruksareal inom rimliga avstånd till biogasanläggningen omöjliggör återvinning av hela eller delar av rötrestens näringsämnen genom spridning. Ett annat motiv kan vara att det visar sig vara ekonomiskt och eller miljömässigt fördelaktigt att utnyttja värmevärdet i rötrestens organiska material. I Karlskoga är till exempel tanken att en stor del av den producerade biogasen ska användas för att framställa ånga till etanolprocessen. Kan gasen ersättas och istället användas i fordon så görs kanske en miljövinst i energisystemet som helhet. Arbetets huvudsyfte är just att utreda frågeställningar av den typen.

Rötresten som den kommer ut ur rötammaren kan inte förbrännas eftersom vatteninnehållet är alltför stort. I det här kapitlet förutsätts att någon form av avvattning har skett, rötrest är här alltså acceptet från avvattningen med en torrsubstans halt TS på 25- 30 %.

3.1 Lager och regler

En fråga som får stor betydelse för alternativet att tillverka bränsle av rötresten är om rötresten klassas som avfall eller inte. Enligt 15 kap. 1 § i miljöbalken är avfall definierat som föremål, ämne eller substans som ingår i en avfallskategori och som innehavaren avser att göra sig av med, eller är skyldig att göra sig av med. Avfallskategorier står listade i avfallsförordningens första bilaga (2001:1063). Avfallsdefinitionen överensstämmer med definitionen i EG: s avfallsdirektiv (2006/12/EG).

Om något är avfallsklassat eller inte får betydelse för under vilka omständigheter det får förbrännas. Avfall får bara förbrännas i avfallsförbränningsanläggningar eller samförbränningsanläggningar, vilket medför striktare krav på rening och tillståndsansökningar i högre instanser än exempelvis biobränsleförbränning. Rötrester från anaerob behandling av kommunalt avlopp och rötning av organiska avfall står listat under avfallskategorierna under avfallskategorierna i avfallsförordningen (kategori 19), men i fallet med rötning av drank så är inte ingångssubstratet definitivt avfallsklassat vilket gör frågan komplicerad. Frågeställningen är snårig och inte möjlig att utreda fullt ut inom ramen för detta examensarbete, men en kortare redogörelse av ett PM utfört för Scandinavian Biogas (Advokatbyrån Åberg & Co), samt en sammanfattning av ett samtal med Naturvårdsverket följer nedan.

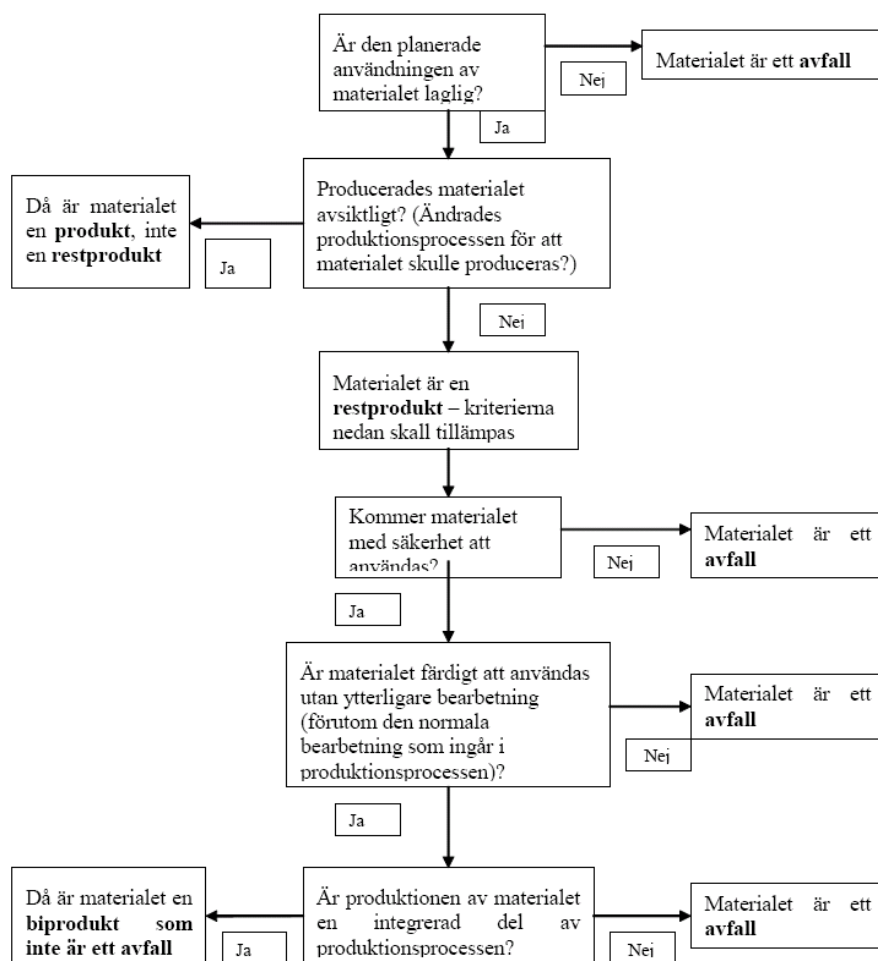
I EU kommissionens tolkningsmeddelande till avfallsdirektivet (KOM2007/59) definieras *produkter* som alla material som framställs avsiktligt i en produktionsprocess. En *restprodukt* är ett material som inte framställs avsiktligt, utan är en oundviklig följd av primärproduktionen. Restprodukter kan vara ett *avfall* eller en *biprodukt*. Om ett primärt ämne, substans eller föremål kan produceras utan att ett sekundärt ämne, substans eller föremål uppstår men

processen designas så att ett sekundärt material uppstår så är det sannolikt att det klassas som en produkt. Biogas går inte att framställa utan att rötrest uppstår vilket tyder på att rötresten är att betrakta som en restprodukt. Varken att restprodukten har ett ekonomiskt värde eller att det är möjligt att återvinna den hindrar att den kan definieras som ett avfall. För att en restprodukt ska kunna betraktas som en biprodukt ska det bl.a. vara säkerställt att den verkligen kommer att återanvändas. En biprodukt ska kunna återanvändas utan bearbetning. Om bearbetning sker som ett led i den fortsatta produktionsprocessen kan det innebära att restprodukten kan klassas som biprodukt. Det ska dock göras en bedömning av omfattning och integreringen av bearbetningen med den huvudsakliga produktionsprocessen. Att återanvändningen ska ske kan säkras genom upprättande av långsiktiga kontrakt med en användare. I fallet Karlskoga skulle den slutliga användaren vara kraftvärmeverket. Eftersom den avvattnade rötresten skulle användas som bränsle för att producera ånga till etanolframställningen kan rötresten i detta fall möjligtvis bedömas vara en biprodukt. I praxis har begreppet produktionsprocess getts en snäv tillämpning. Risken är att bearbetningen till bränsle, avvattning och torkning anses som allt för omfattande och inte en som del av den fortsatta produktionsprocessen.

Kan ett resonemang föras utifrån beslutsträdet (figur 9) som för fram till att rötresten är en biprodukt rekommenderar Naturvårdsverket att saken prövas hos den aktuella tillsynsmyndigheten (Hansson, D. pers. med.). Oavsett frågeställningen om avfall/biprodukt måste en bedömning göras av huruvida rötresten som bränsle ryms inom tillståndet och om förbränningen ryms inom den tillåtna förbränningskapaciteten. Om tillsynsmyndigheten går på linjen att rötresten kan klassas en biprodukt och att den kan förbrännas inom anläggningens tillstånd så är saken löst i det enskilda fallet.

En sak som kan vara värd att undersöka vid planeringen av bioenegikombinat är om någon närliggande förbränningsverksamhet planerar att söka nya eller förnya sina tillstånd. Det kan vara lättare att få in rötrestbränslet i ett nytt eller förnyat tillstånd än i ett befintligt (Hansson pers. med.).

Ramdirektivet om avfall är under omförhandling, något som ska vara klart under 2008. Medlemsstaterna har därefter två år på sig att implementera bestämmelserna i den nationella lagstiftningen. Med stor säkerhet kommer harmlösa restprodukter från jord och skogsbruk undantas från avfallsreglerna. Frågan om rötad drank är ett avfall eller biprodukt kan därför vara inaktuell inom en snar framtid.



Figur 9 Beslutsträd för att avgöra om en restprodukt är avfall eller biprodukt. Hämtat från EU kommissionens tolkningmeddelande (KOM2007/59).

3.2 Rötrestens värmevärde

Tabell 1. Rötrestens värmevärde enligt analysdata

Värmevärde rötrest (85,8 % VS* av TS)	MJ/kg
Kalorimetriskt värmevärde torrt prov	18,92
Effektivt värmevärde torrt prov konstant tryck	17,613

* VS – organisk torrs substans (Volatile substance) TS- Torrs substans (aska + VS)

Det effektiva värmevärdet varierar beroende på fukthalt. Nedanstående beräkningsformel gör det möjligt att bestämma det effektiva värmevärdet (H_i) vid olika fukthalter. (Bernesson, 2004)

$$H_i = (1 - W) * H_{iTP} - W * (H_v / M_v)$$

H_{iTP} = effektivt värmevärde torrt prov konstant tryck {MJ/kg}

W = fukthalt.

H_v = molar förångnings entalpi = 44 {kJ/mol}

M_v = mol massa för vatten = 18,016 {g/mol}

För att erhålla en god självständig förbränning bör bränslet ha ett effektivt värmevärde runt 7 MJ/kg (Östlund 2003). Rötresten behöver då ha en TS-halt på ungefär 48 %.

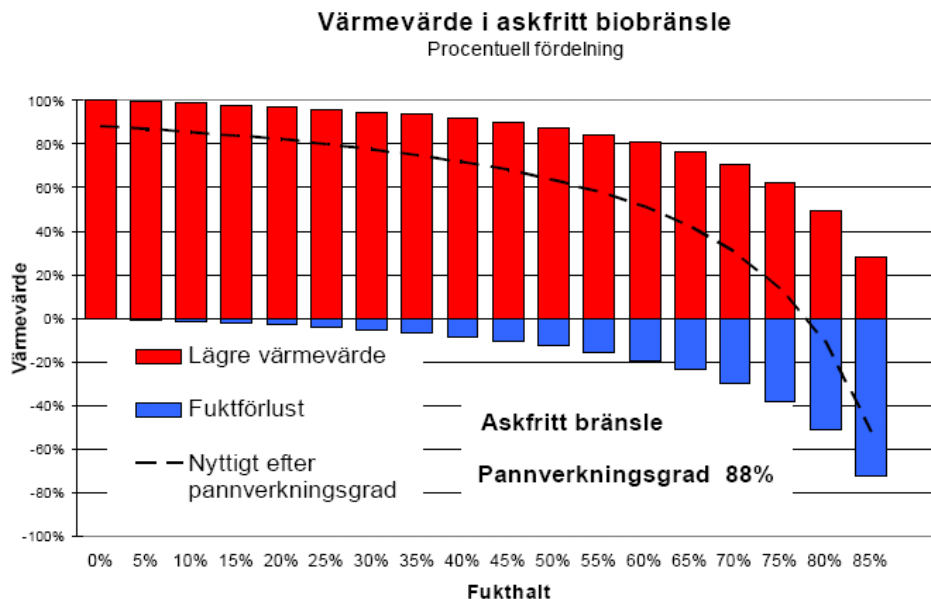
Tabell 2. Effektivt värmevärde rötrest vid olika fukthalter

TS %	MJ/kg rötrest	MWh/ton	kommentarer
7,3	– 1	– 0,3	Rötresten i röt-kammaren
24,5	2,5	0,7	Analyserad rötrest
30	3,6	0,9	TS-halt efter avvattnings i Karlskoga
48	7,2	2	Ungefärlig TS-halt för förbränning utan stödbränsle
61	9,8	2,7	Rötrest med ungefär samma värmevärde som torv
97	17,01	4,8	Pelleterad rötrest

Som en jämförelse anges nedan typiska energiinnehåll för några vanliga bränslen.

Tabell 3 Jämförelse med andra bränslens värmevärde (Uppenberg et. al, 2001)

Bränsle	Effektivt värmevärde vid fukthalt 50 % [MJ/kg]	Effektivt Värmevärde [MJ/kg TS]	kWh/kg TS
Torv	9,3	21	5,83
Skogsbränsle	8,4	19,2	5,33
Stenkol	-	27,2	7,55



Figur 10. Värmevärde i askfritt bibränsle (Johansson et al. 2004).

3.3 Torkning

Rötrestens torrs substans har ett värmevärde i samma storleksordning som exempelvis halm (Strömberg 2005) vilket gör en produktion av bränsle tänkbar. Beroende på förbränningsanläggningens utformning uppstår olika behov av torkning. Ska förbränningen ske i ett kraftvärmeverk med installerad rökgaskondensering så behöver bränslet inte vara torrare än vad som krävs för att få en bra förbränning. Större delen av energiinnehållet kan utnyttjas tack vare att kondenseringsvärmes kan återvinnas i exempelvis fjärrvärmenät. I en panna utan rökgaskondensering ökar dock värdet av torkning: temperaturen i eldstaden blir högre med torrare bränsle vilket kan ge bättre värmeupptagning, avgasmängden minskar också vilket reducerar avgasförluster. Båda dessa faktorer påverkar pannverkningsgrad och pannkapacitet (Johansson et al. 2004). Ska rötresten samförbrännas med andra bränslen ska blandningens totala TS-halt kunna upprätthålla rätt förbränningstemperatur.

Lagringsegenskaper påverkas positivt av torkning. I blött flis kan TS-förlusten vara 2,5-3 % per månad på grund av mikrobiologisk aktivitet. I torrt tillstånd reduceras detta till 0,5-1 % (Johansson et al. 2004). Eftersom driften av biogasanläggningen är kontinuerlig medan kraftvärmeverkens bränslebehov normalt varierar med årstider är lagringsegenskaper en viktig aspekt av torkningen.

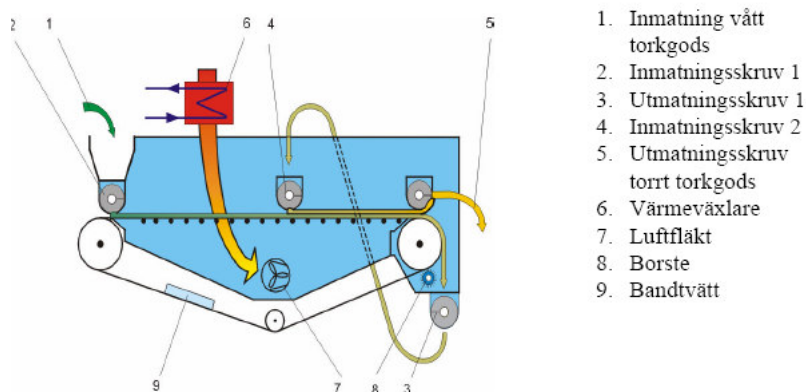
En annan viktig faktor med både miljömässiga och ekonomiska aspekter är transporterbarheten som ökar med ökande TS-halt. I det här sammanhanget kan kompaktering, exempelvis pelletering också bli intressant. Pelletering kan också förhindra damningsproblem vid hanteringen.

3.3.1 Olika typer av torkteknik

Torkning bygger på att fukten avdunstar och förs bort av ett uppvärmt torkmedium. Torkmediet utgörs vanligtvis av rökgaser, ånga eller luft. Ångtorkning innebär att en relativt högvärdig värmekälla används, men möjligheterna att återvinna värmeenergi via kondensering är ofta bra. Värmeenergi kan exempelvis återvinnas till rötkammare i en biogasanläggning. Det finns några grundtyper av torkteknik:

- Strömtork: principen är att torkgodset blandas in i och följer med det strömmande torkmediet under en kortare tid för att sedan avskiljas i en cyklon. Tekniken lämpar sig väl för finkornigt och homogent material. Fördelar med tekniken är att den kräver lite yta, det finns många referensanläggningar (Johansson et. al 2004). Nackdelar är bl.a. hög elförbrukning, ofta primäreenergi som värmekälla, exempelvis ånga.
- Fluidbäddstork: gashastigheten är lägre än i en strömtork, partiklarna hålls svävande/cirkulerande i gasströmmen. Uppehållstiden på godset är ofta längre än i en strömtork annars ungefär samma för och nackdelar som strömtork.
- Roter/trumtork: I princip ett svagt lutande roterande rör med medbringare där torkmediet möter torkgodset antingen med eller motströms. Det går också att värma manteln för att överföra värme till godset inne i trumman (indirekt). Fördelar är en enkel och robust konstruktion som klarar inhomogena material och är flexibel vad gäller fukthalten på inkommande material. Nackdelar är relativt hög elförbrukning samt att de ofta använder primäreenergi (Johansson et. al 2004).
- Bäddtork: den enklaste typen är att torkgodset matas in som en jämntjock bädd på ett perforerat transportband och torkmediet blåses över eller underifrån genom bädden. Nackdelen är att stor yta krävs och att det inte finns så många referensanläggningar med lång drifttid. På plussida är en låg elförbrukning och enkel utrustning (Johansson et. al 2004).

Bäddtorkning är den teknik som rekommenderas om spillvärmekällor under 100°C ska användas för att torka biobränslen (Johansson et al. 2004).



Exempel på en bäddtork, i detta fall KUVO Belt Dryer från SwissCombi.[10]

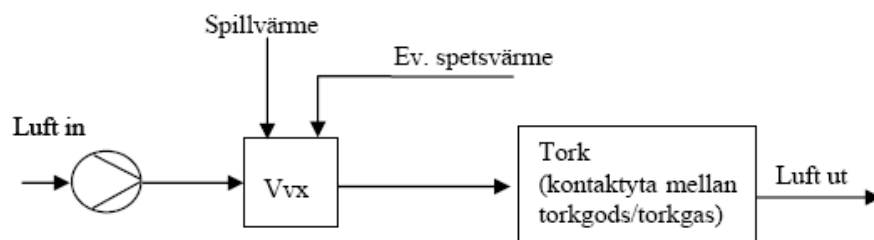
Figur 11. Principskiss bäddtork (källa: Johansson et al. 2004)

3.3.2 Energibehov till torkning

Värmeenergiförbrukningen avgörs av följande faktorer

1. förångningsenergi
2. uppvärmning av torkmediet
3. uppvärmning av torkgodset
4. värmeförluster till omgivning

Förångningsenergin för vatten är ~ 2260 kJ/kg avdunstat vatten (vid 1 atm.) till det kommer uppvärmningen av vattnet $4,19$ kJ/°C och kg H_2O samt torkgodsets uppvärmning. Förångningsenergin motsvarar ca $0,63$ MWh/ton avdunstat vatten teoretiskt, men i en verklig applikation tillkommer förluster. Förångningsenergin utgör oftast den största delen av energiförbrukningen. Energin kan överföras med torkmediet (direkt torkning) och/eller ytor som är i kontakt med torkgodset (indirekt torkning). Förutom värmeenergi behövs el till fläktar, motorer m.m.

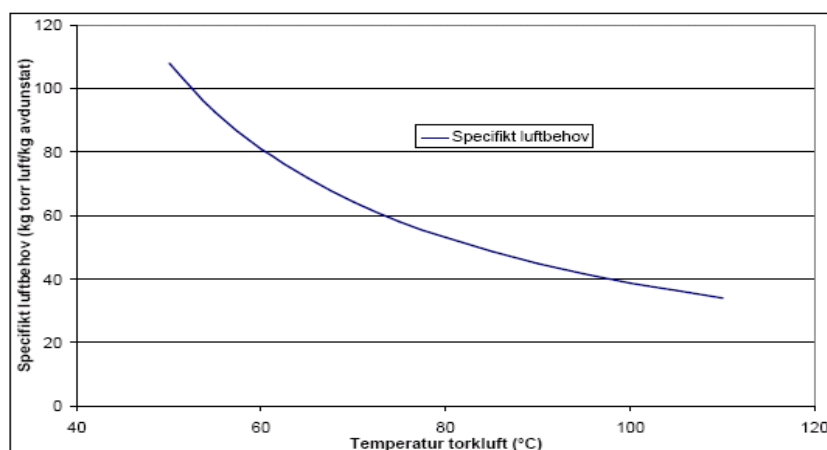


Figur 12. Principskiss torkning med luft.

Luft uppvärmd mot vatten eller rökgaser via värmeväxlare är alternativet för utnyttjande av spillvärme (Johansson et al. 2004). Uppvärmningen av torkluften syftar till att öka förmågan att ta upp fuktighet genom att den relativa fuktigheten i luften minskar då den värms upp. Ju varmare den ingående luften är desto mer

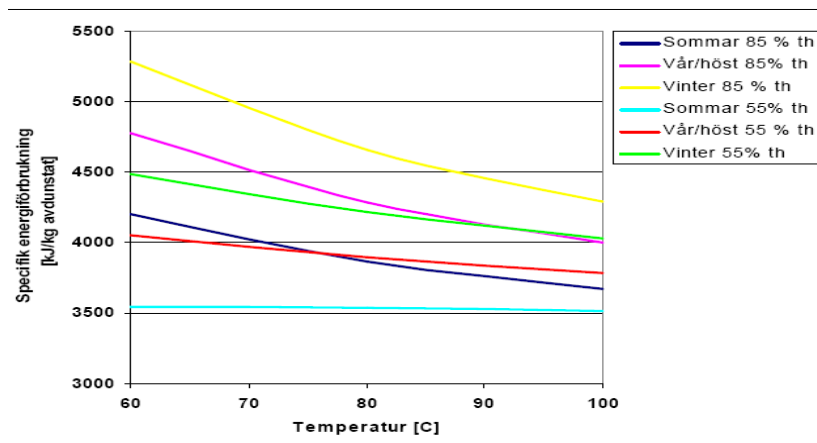
fuktighet kan den ta upp och föra bort. Luftförbrukningen i anläggningen minskar därför med ökande torktemperatur (figur 13). Det medför att en högre temperatur på torkmediet ger en mindre anläggning och mindre effektbehov på fläktar m.m. Av samma anledning kan det vara lönt att spetsvärma torkmediet några grader med exempelvis en panna eller gasbrännare (Johansson et al. 2004).

Något konkret exempel på anläggning som utnyttjar spillvärme vid så låga temperaturer som 60-70°C inte hittats under arbetets gång. Generellt kan det sägas att torkmediet kommer att vara uppvärmd luft som värmeväxlar mot (vattenburen) spillvärme. Låga temperaturer kräver stora flöden av både spillvärme och luft. Den specifika energiförbrukningen (kJ/kg avdunstat) ökar ju lägre temperaturen är eftersom mer luft måste värmas upp (figur 14). Exempelvis så är den specifika energiförbrukningen för torkning av biobränsle vid 60°C ~4, 1 MJ/kg avdunstat vatten, vid 90°C ca 3,6 MJ/kg avdunstat (Johansson et al. 2004). Energiåtgången baseras på att 10°C uteluft med 80 % relativ luftfuktighet går in i torken (vår/höst). Parametrar i torken måste dimensioneras så att den utgående luften har högre temperatur än mättnadstemperaturen (så att fukten inte kondenserar inne i torken) (Johansson et al. 2004).



Beräknad specifik luftförbrukning vid förvärmning av uteluft, 10°C 80 % relativ fuktighet. Utgående lufttemperatur från torken är 5°C över mättnadstemperaturen.

Figur 13. Specifik luftförbrukning för torkning vid olika torktemperaturer



Figur B 2. Specifik energiförbrukning ($\text{Nm}^3/\text{kg avd}$) mot temperatur för 6 fall: 2 torrhalter och 3 säsonger.

Figur 14. Specifik energiförbrukning för några olika fall. (Johansson et al. 2004).

Förutom värmeenergi går det åt el till fläktar m.m. Fläkteffekten är proportionell mot volymflödet. Nödvändigt massflöde kan avläsas i figur 13. Densiteten på torr luft är ca $1,06 \text{ kg per m}^3$ vid 60°C och 1 atmosfär, vilket innebär ett ungefärligt volymflöde på $80\,000 \text{ m}^3$ torr luft per ton avdunstat vatten. Motsvarande för 90°C är ca $44\,000 \text{ m}^3$ luft per ton avdunstat vatten. En tork som torkar biobränsle vid 60°C behöver grovt räknat ca 1,1 MWh värmeenergi och $80\,000 \text{ m}^3$ luft per ton avdunstat vatten. Motsvarande vid 90°C är 1 MWh och $\sim 44\,000 \text{ m}^3$ luft.



Figur 15. Baddtork (Källa: http://www.watropur.com/en/belt_sludge_dryer/)

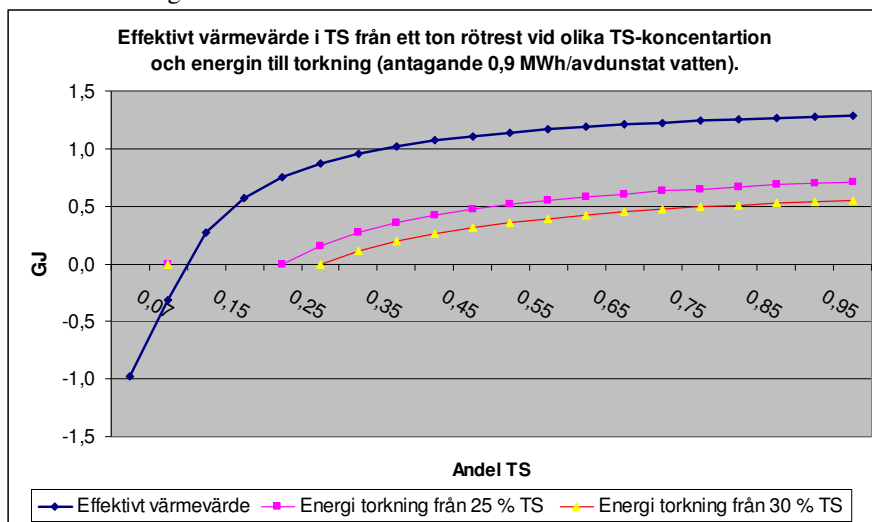
Ett flöde av torkad luft kan torka effektivt även vid låg temperatur. En leverantör som kontaktats under rapportskrivandet uppger att energiförbrukningen för deras baddtorkar är 0,3 kWh (el) per kg separerat vatten. Tekniken bygger på att fukten kondenseras ut ur ingående uteluft genom kylning (med hjälp av värmepump). Luften värms sedan upp till ca 40°C på värmepumpens varma sida. Resultatet är luft med väldigt låg relativ luftfuktighet, det vill säga hög kapacitet att ta upp fukt från omgivningen. Kapacitetsmässigt uppges en 400 kW apparat kunna avdunsta

24 ton per dygn. Torken kräver en TS-halt på minimum 20 % in och når 90 % TS. Tekniken innebär en primärenergiförbrukning i form av el, elenergibehovet på 0,3 MWh/ton avdunstat vatten motsvarar i storleksordningen 1 MWh värmeenergi (en del el till tre delar värme enligt gängse sätt att se på värmepumpsteknik).

Ångtorkning innebär förbrukning av primärenergi, ånga med ett visst tryck och temperatur. Men tekniken har möjligheter till sekundärenergiåtervinning vid nyttiga temperaturer (Wimmerstedt & Linde, 1998). Energiförbrukningen för ångtorkning av drank vid Agroetanol anges till ca 0,87 MWh/ton avdunstat (Paulsson, 2007).

3.3.3 Energi till torkning och det effektiva värmevärdet

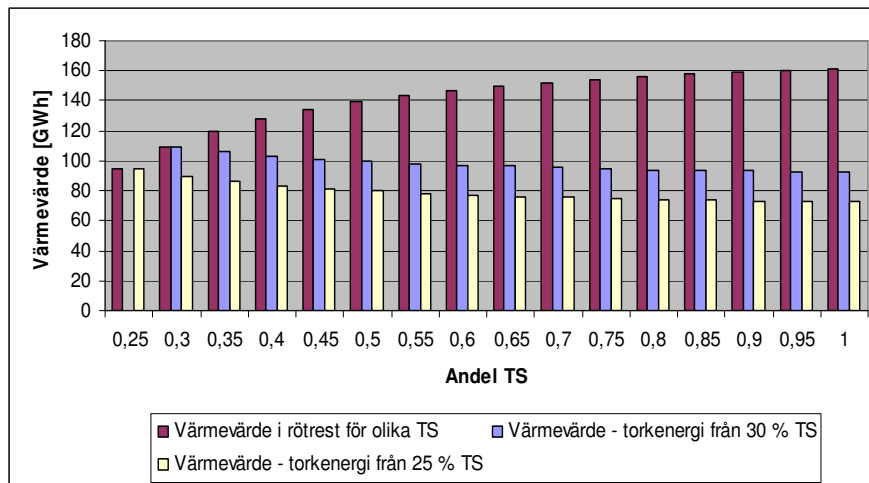
En värmeenergimängd i området 0,8-1 MWh/ton avdunstat verkar vara ett rimligt antagande utifrån litteratur och samtal med personer i torkteknikbranschen. Här antas 0,9 MWh värmeenergi åtgå per ton avdunstat vatten. I figur 16 & 17 visas sambanden mellan ökningen i TS och effektivt värmevärde och den insats av energi som krävs för att nå dit. I figur 16 kan det utläsas att värmevärdet är högre än insatsen av torkenergi. Energiöverskottet är lågt, men blir bättre ju högre TS rötresten har innan torkning (tabell 4). Ur figur 17 kan slutsatsen dras att ökningen i effektivt värmevärde med ökande TS-halt som uppnås är mindre än insatsen av torkningsenergi. Det innebär att rötresten inte bör torkas mer än absolut nödvändigt för förbränning och lagring, samt att torkenergin måste vara billig eller värdet på värmevärdet högt.



Figur 16 Det effektiva värmevärdet vid olika TS-koncentrationer samt energi till torkning för att nå dit. Energiutbytet blir bättre ju högre TS som uppnås i avvattningen

Tabell 4 Data från figur 16

TS %	25	30	35	45	60	75	90	95	100
Ef. Värmevärde [GJ]	0,75	0,87	0,95	1,07	1,17	1,23	1,27	1,28	1,29
Avdunstningsenergi från 25 % TS [GJ]	0,00	0,16	0,27	0,42	0,55	0,63	0,68	0,70	0,71
Avdunstningsenergi från 30 % TS [GJ]	0,00	0,00	0,11	0,26	0,39	0,47	0,53	0,54	0,55



Figur 17 Värmevärdet i en årsproduktion motsvarande 33 000 ton TS (som i Karlaskoga) och värmevärdet efter att insatt energi till torkning har subtraherats. Rökgaskondensering är inte inkluderat.

3.3.4 Torkning och miljö

Vid torkning av biobränslen kan torkning ge upphov till nitrösa gaser samt flyktiga organiska föreningar (Johansson et al 2004). Eftersom de flyktiga organiska föreningarna bör vara utrötade så är förmodligen avgång av ammoniak det som skulle kunna skapa miljöproblem i första hand. Den avvattnade fraktionen från Scandinavian Biogas pilotanläggning innehåller ca 35 % av rötrestens totala ammoniumkväve enligt de analysrapporter som används i detta examensarbete. Ammoniumkvävet föreligger i en jämvikt mellan i vätskan löst NH_4^+ och NH_3 som avgår som gas, jämvikten är beroende av temperatur och pH. I en tork kommer både hög temperatur och luftflöde ge förutsättningar för att NH_3 ska avgå, skulle det dessutom användas exempelvis kalk i avvattningen så kommer pH att vara högt vilket ytterligare bör öka förutsättningarna för NH_3 -avgång. NH_3 kan inte släppas ut till omgivningen hur som helst eftersom det både bidrar till försurning, övergödning och luktproblem. I torkprocessen i Himmerfjärdsverket återfinns dock enligt uppgift det mesta av det ingående ammoniumkvävet i den torkade produkten om inte utgående vattenånga överstiger 120°C (Benjaminsson & Linné, 2007) något som antyder att ammoniakavgång inte behöver bli ett problem.

3.4 Rötrestens förbränningsegenskaper

Den brännbara andelen av rötresten utgör enligt analysdata cirka 85 % av torrsubstansen, vilket innebär att det blir relativt stora askflöden vid förbränning. Det fanns inga tillgängliga data på smältpunkt och andra relevanta askegenskaper i skrivande stund. Askan behöver i sig inte vara något större problem då rötresten inte innehåller nämnvärda mängder av tungmetaller. Fosfor och andra mineraler skulle i princip kunna återföras till exempelvis skog. Problemet uppstår i och med att det inte är säkert att rötresten kan säljas som biobränsle. Om rötresten ska förbrännas tillsammans med avfallsbränslen så bör de övriga fraktionerna i bränlemixen vara av sådan karaktär att inte askans kvalitet påverkas negativt med avseende på tungmetaller om askan ska kunna spridas och mineralerna återcirkuleras. Om askan ska deponeras får också bränlemixens sammansättning stor betydelse för deponikostnaden (Rönnqvist pers. med).

Risken finns att andelen finfraktion i ett rötrestbränsle blir hög, vilket kan leda till problem med medryckning av partiklar och därmed beläggningar och oförbränt material i flygaskan (Strömberg 2005). Hanteringsmässigt så kan också problem med damning uppstå (Rönnqvist pers. med).

Rötrestens höga kväve och svavelinnehåll kan möjligen medföra utsläpp av NO_x och SO_x (Linder 2001). I de flesta moderna förbränningsanläggningar är inte svavelutsläpp något problem eftersom rökgasreningstekniken klarar dessa, så är fallet i exempelvis Karlskoga (Lidell pers. med.). Vad gäller NO_x är det svårt att säga något generellt, det beror på vilken sorts rökgasrening som finns installerad. Förbränningsförsök med pellets av etanoldrank vid Karlskoga KVV visade att de höga kvävehalterna i bränslet inte ledde till ökad NO_x -bildning. Förhöjda NH_3 värden observerades dock. NH_3 behöver inte vara något problem om det finns rökgaskondensering med ammoniakstrippning (Herstad Sverd). Det behövs förmodligen förbränningsförsök med rötrestbränsle för att kunna säga något konkret om utsläpp från förbränningen.

3.5 Ekonomi

En viktig fråga är hur ett rötrestbränsle ska värderas. Två olika perspektiv är intressanta. Rötrestbränslet kan användas internt i bioenergikombinat och ersätta andra bränslen exempelvis biogas, något som kan frigöra mer fordonsbränsle och/eller förbättra kraftvärmeverkets elproduktion. Det andra alternativet kan kanske vara att rötrestbränslet kan ersätta exempelvis torv i värmeanläggningar. I en värdering av rötrestbränslet i det första fallet bör värdet av ökad produktion av fordonsbränsle och el tas med i kalkylen, i det andra fallet bör priset sättas i relation till jämförbara bränslen.

Att torv är klassat som fossilt bränsle i handeln med utsläppsrätter gör att det kan vara intressant att ersätta torv med ett rötrestbränsle (Thalback, personligt meddelande). Torv är dock ett bra bränsle som ger lite slitage på anläggningar. Om torv inte vore fossilklassat är det tveksamt om det vore intressant att ersätta det med rötrestbränsle (Thalback, pers. meddelande). För Karlskoga KVV kostar

torven som exempel ca 150 kr/MWh. CO₂-utsläppsrätter kostar enligt uppgift från Karlskoga Energi ca 20 Euro/ton CO₂ vilket ger ca 7,5 euro/MWh torv baserat på ett värmevärde 2,7 MWh/ton torv och ~1 ton CO₂/ ton (Uppenberg et. al, 2001). Kostnaden för torv bör hamna i storleksordningen 200 kr/MWh eller 540 kr/ton. Askhalten i rötresten är dock ca 14-15 %, ungefär två till tre gånger så mycket som torv vilket ökar kostnaden för askhantering. Sammantaget bör rötresten prisättas utifrån kostnadsnivån för returträ-flis (RT-flis), ca 100 kr/MWh (Thalbäck, pers. kommunikation). Baserat på det effektiva värmevärdet ~ 2,7 MWh/ton (60 % TS) bör värdet bli ca 270 kr/ton. Ett pelleterat rötrestbränsle är värt ca 450-470 kr/ton om värdet sätts i relation till RT-flis.

Möjligheten att sälja bränslet externt beror om rötresten är ett avfall eller inte (se avsnitt 2.1). Om rötresten kan klassas som biobränsle bör den kunna värderas högre. Dessutom så skulle mineralerna i askan lättare kunna återcirkuleras genom spridning i skog eftersom det kan samförbrännas med rena biobränslen.

Vid samförbränning med avfallsbränslen är risken inte obetydlig att askan klassas som farligt avfall (Rönnqvist per. med). Priset på deponering av farligt avfall är ca 1300 kr/ton, mer än det dubbla priset för deponering av icke-farligt avfall. Om askan måste deponeras som farligt avfall så medför de ~150 kg aska från ett ton rötrest ca 135 kr extra i deponiavgift jämfört med torv. Det blir alltså viktigt att se på den totala bränslemixen vid en eventuell förbränning.

Torkningens driftskostnader kan utgöra en stor andel av totalkostnaden för bränsleframställning. Hur mycket beror på val av teknik och kostnaderna för värme och elenergi.

3.6 Sammanfattning av bränslealternativet

Värmevärdet i rötrestens torrs substans är så pass hög att ett bränsle ska kunna framställas. Rötresten kommer med all säkerhet behöva torkas för att bli attraktiv som bränsle, till vilken grad beror på förutsättningarna i aktuell anläggning. En anläggning med rökgaskondensering som Karlskoga KVV vill ha en TS på ca 50-60 %. Tillverkning av ett rötrestbränsle är förmodligen intressantast i ett energikombinat eftersom systemen kan integreras på ett fördelaktigt sätt. Ett kraftvärmeverk kan exempelvis använda torkningen av rötresten som värmesänka för att kunna producera mer el, eventuellt kan också spillvärmeströmmar utnyttjas. Rötresten kan sedan ersätta torv, biogas eller annat bränsle. I ett system där biogas används för värmeproduktion så skulle ett rötrestbränsle kunna frigöra gas som kan uppgraderas till fordonsbränsle istället. Ett exempel på systemintegrering är bioenergiekombinatet i Hedensbyn (Skellefteå Kraft) där ett integrerat kraftvärmeverk- bränsle fabrik bedöms ge en 40 – 50 % ökning av elproduktionen, mycket på grund av att verkets nyttjandetid över året förlängs (Energimyndigheten 2003).

Torkningen är energikrävande, 0,8 – 1 MWh värmeenergi/ton avdunstat vatten anges av ett flertal källor för torkning av slam. Ett antal torktekniker finns applicerade på torkning av avloppsslam. Trumtork med ånga som torkmedium är

en vanlig variant, med den tekniken finns också goda möjligheter för värmeåtervinning till exempelvis rökammare. En annan teknik är att torka med hjälp av torkad luft, något som dock kräver el till värmepumpen förutom till fläkt och maskineri, Energiförbrukning uppges till ca 0,3 MWh el/ton avdunstat enligt tillverkaren. Att utnyttja spillvärme angavs i början av kapitlet som önskvärt. Det har varit svårt att hitta något konkret exempel att visa på, men generellt verkar bäddtorktekniken vara lämplig för slamtorkning. Problemet med torkning med värmenivåer på ca 60-70°C är att både den specifika energiförbrukningen (kJ/kg avdunstat) och specifik luftförbrukning (Nm³/kg avdunstat) ökar med sjunkande temperatur. Det behövs cirka dubbla mängden luft vid 60°C luft jämfört med 90°C (Johansson et al. 2004) något som påverkar effektbehovet till fläktar. Ökningen i specifik värmeenergiförbrukning behöver inte vara ett problem om spillvärmens betraktas som "gratis" och finns i tillräckliga mängder.

Ur figur 17 kan slutsatsen dras att det går åt mer energi till torkningen än vad ökningen i värmevärde motsvarar. Det totala värmevärdet är dock högre än insatsen av torkenergi (figur 16). Energiöverskottet är dock inte speciellt stort vilket medför att ekonomin i att framställa ett rötrestbränsle avgörs av förhållandet mellan kostnaden för torkningen och värmevärdets värde. Ska förbränningen ske i ett kraftverk med rökgaskondensering så ska rötresten inte torkas mer än absolut nödvändigt för att kunna hanteras och förbrännas. På en möjlig framtida marknad är kanske pellets att föredra eftersom det ger bra transport och lagringsegenskaper.

Den kanske viktigaste frågan är huruvida rötrest kan klassas som biprodukt och därmed undantas från reglerna för avfallsförbränning. En avfallsklassning kommer att begränsa marknaden för ett rötrestbränsle till avfallsanläggningar som har kapacitet att förbränna ytterligare avfall inom sitt tillstånd. Den idag (2008) enda framkomliga vägen att få rötresten klassad som biprodukt verkar vara att se hur väl förutsättningarna stämmer in på de kriterier som listas i beslutsträdet (se avsnittet om lagar och regler), för att sedan pröva saken hos tillsynsmyndigheten. Eventuellt kommer nya EU-regler göra att den frågan inte är aktuell om ett par år.

4 Miljö och energianalys av hanteringssystemen för rötresten

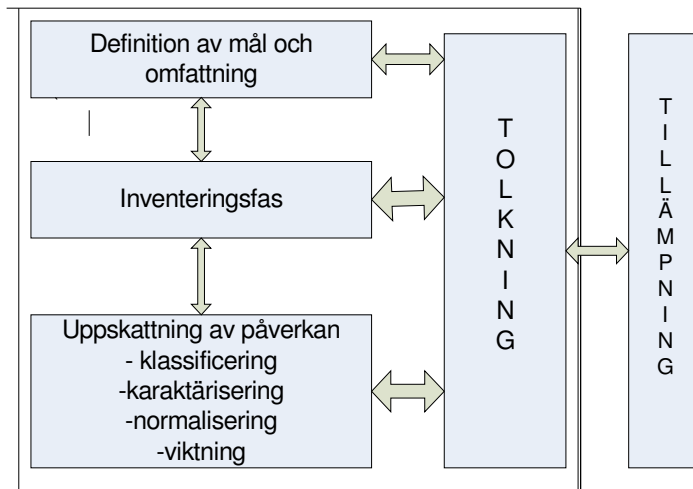
Avsikten med detta kapitel är relatera energiåtgång och miljöpåverkan från aktiviteter och insatsvaror som kan knytas till rötresthanteringen. Metoden är att relatera varje moments påverkan till samma enhet, ett ton obehandlad rötrest. Målet är att de i systemet ingående delarna ska kunna vägas samman och ge en bild av helhetens påverkan på miljö och energiförbrukning. Eftersom allt relateras till samma enhet ska det gå att jämföra olika system, eller en kombination av dem.

Resultaten ska läsas som indikationer på skillnaderna mellan systemen snarare än exakta siffror. Beräkningar baseras på energi- och miljödata för bränslen och insatsråvaror hämtade från "Miljöfaktabok för bränslen" (Uppenberg et. al 2001), litteratursökning på SLU: s databaser och hos olika myndigheter. Ett viktigt källmaterial är examensarbetet "Life Cycle Inventory of Fertilizer Production" av Davis & Haglund utgivet av Institutet för livsmedel och bioteknik AB (SIK). Dessa miljö- och energidata relateras till rötresthanteringen via de analysdata och driftsdata som har gjorts tillgängliga av Scandinavian Biogas. Alla beräkningar baseras på analysdata för en fast fraktion med 25 % TS.

4.1 Teori

Det teoretiska ramverket i denna systemjämförande studie är hämtat från livscykelanalysens (LCA) metodik.

I boken "The Hitch Hiker's Guide To LCA" (Baumann & Tillman, 2004) nämns två huvudsakliga metodologiska angreppssätt som svarar på olika typ av frågor. Den första är "bokförande" (accounting), retrospectivt jämförande analys som svarar på frågor som "vad har den här produkten för miljöpåverkan?". Den andra angreppssättet är en framåtblickande jämförelse som svarar på frågor som "vad händer om det här väljs framför detta?". Målet med detta analysavsnitt är att i stora drag åskådliggöra effekter av olika val i systemet, därför är det framåtblickande jämförande perspektivet som är intressant här. Resultaten ska ses som indikationer



Figur 18. Stegen i en LCA

En LCA ska ha en tydlig måldefinition där anledningen till att studien genomförs, tillämpningsområdet och för vem studien är avsedd framgår.

I den första fasen bestäms också studiens gränser. Avgränsningar i tid och geografi samt mot naturen är viktiga dimensioner liksom avgränsningar inom det tekniska systemet (Baumann & Tillman, 2004).

För att kunna jämföra olika alternativ behövs en gemensam utgångspunkt, i LCA används begreppet *funktionell enhet*. Enheten ska vara entydig och täcka ett behov eller en funktion. I en jämförande studie mellan alternativ A och B ska båda alternativen kunna uppfylla samma funktion eller täcka samma behov (Baumann & Tillman, 2004).

Det andra viktiga steget i en LCA är att utreda och kvantifiera moment som bidrar till miljöpåverkande utsläpp och energiförbrukning. Den fasen kallas inventeringsfas. Studien kan sluta med inventering och kallas då en livcykelinventering, LCI. En situation som ofta uppkommer i denna fas är att fler produkter ingår eller uppstår i en process, problemet är hur energi och miljöpåverkan ska fördelas, eller allokeras, på respektive produkt. Om inte allokering kan undvikas bör den baseras på underliggande fysikaliska samband, hur inputs och outputs förändras av en kvantitativ förändring i systemet (Tillman & Baumann, 2004). Om inte fysikaliska samband är kända kan andra samband som representerar en relation mellan produkterna användas, exempelvis det ekonomiska värdet av respektive produkt (Tillmann & Baumann). Ett sätt att undvika allokering är systemutvidgning. I det här fallet innebär det att den totala miljöpåverkan och energiförbrukningen för de olika sätten att hantera rötresten jämförs med ett alternativt system som kan fylla samma syfte. Rötrestens användning i jordbruket jämförs med produktion och användning av mineralgödsel. Rötrestbränslet jämförs med ett bränsle som det är troligt att det kan ersätta.

Ett val av vilka miljöpåverkanskategorier som ska undersökas måste också göras, exempelvis övergödning och klimatpåverkan m.m. Systemets emissioner relateras till en miljöpåverkanskategori och räknas om till ekvivalenter via faktorer, exempelvis CO₂ – ekvivalenter för klimatpåverkan.

4.1.1 Måldefinition

Målet med analysen är att ge ett underlag för att kunna väga de alternativa hanteringssystemen mot varandra ur energi- och miljöperspektiv. För att kunna bedöma påverkan i ett större sammanhang behövs också en analys av de system som rötresten kan tänkas ersätta. Tillämpningsområdet är strategisk planering av rötresthanteringen på en storskalig biogasanläggning.

4.1.2 Funktionell enhet

För att kunna jämföra alternativa användningsområden för rötresten så behöver en enhet som gör det lätt att jämföra dem, ett ton rötrest så som den kommer ut ur rötammaren är en lämplig enhet. Då kan systemens energibalans och miljöeffekter samt ekonomi jämföras direkt och relateras till den mängd rötrest som matas ut ur rötammaren. Valet av funktionell enhet fungerar bra när det gäller alternativet att sprida rötresten obehandlad på åkern. Det blir lite mer komplicerat i de system där rötresten behandlas innan slutanvändning, men alla energiinsatser och miljöpåverkan relateras till ett ton rötrest för att göra systemen jämförbara. Exempelvis ger ett ton rötrest upphov till ca 290 kg avvattnad fraktion (25 % TS) och 1,5 ton rejektvatten. I analysen har då energi och miljöpåverkan för att behandla rejekt beräknats på 1,5 ton.

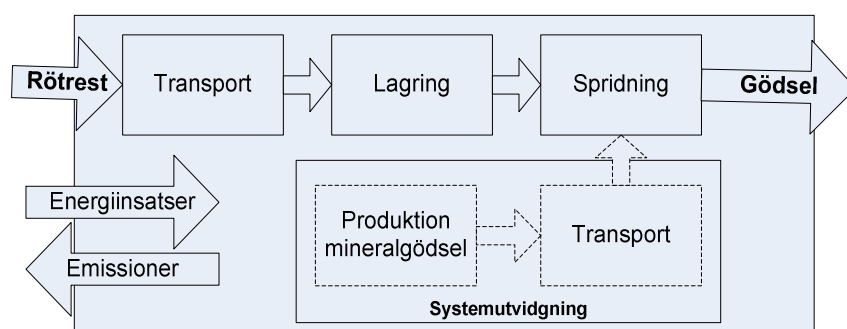
4.1.3 Systemgräns och allokering

I en energianalysstudie om biogassystem (Berglund & Börjesson, 2003) belastas inte de ingående substrat som kategoriserats som restprodukter med energianvändning i tidigare led. Endast energiförbrukning som kan relateras direkt till hanteringen av avfallet beaktas. En liknande systemgräns väljs för detta arbete. Rötresten betraktas som en restprodukt från huvudprodukterna biogasframställning, och belastas därmed inte med energianvändning och miljöeffekter från exempelvis odling och transport av spannmålen till etanol/biogasproduktion. En enkel motivering till detta är att rötresten inte skulle uppstå utan etanol/metanproduktion. Energiförbrukning och miljöpåverkan fram tills rötresten matas ut ur rötammaren är gemensam för alla efterföljande steg. Eftersom målet är att jämföra olika hanteringssystem så kan den gemensamma posten uteslutas ur jämförelsen, även tillverkning av maskiner m.m. utesluts ur analysen. Detta på grund av att huvudsyftet med examensarbetet är att ta fram ett beslutsunderlag för hanteringen av rötrester, inte att göra en komplett LCA.

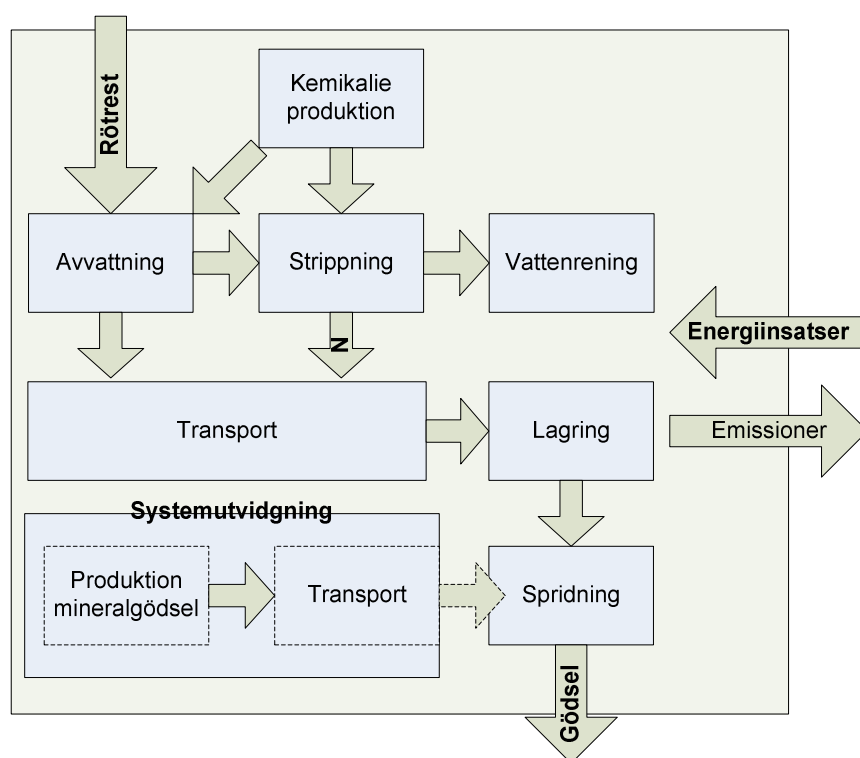
Systemgränsen i början av systemet sätts vid utmatning av rötrest ur rötammaren, rötresten betraktas inom systemet som en råvara. Systemgränsen för gödselalternativen dras efter att rötresten är spridd eftersom eventuella miljökonsekvenser av spridningen då blir synliga. Systemutvidgningen innebär att mineralgödselns miljö- och energieffekter från produktion till spridning inkluderas

i systemet. Bränslesystemets systemgräns går vid förbränningsgaserna eftersom det är där en stor del av miljöpåverkan från förbränning ligger. Däremot inkluderas inte askhantering m.m. Miljöpåverkan från produktion, distribution och förbränning av de bränslen som rötresten ska ersätta inkluderas i systemutvidgningen.

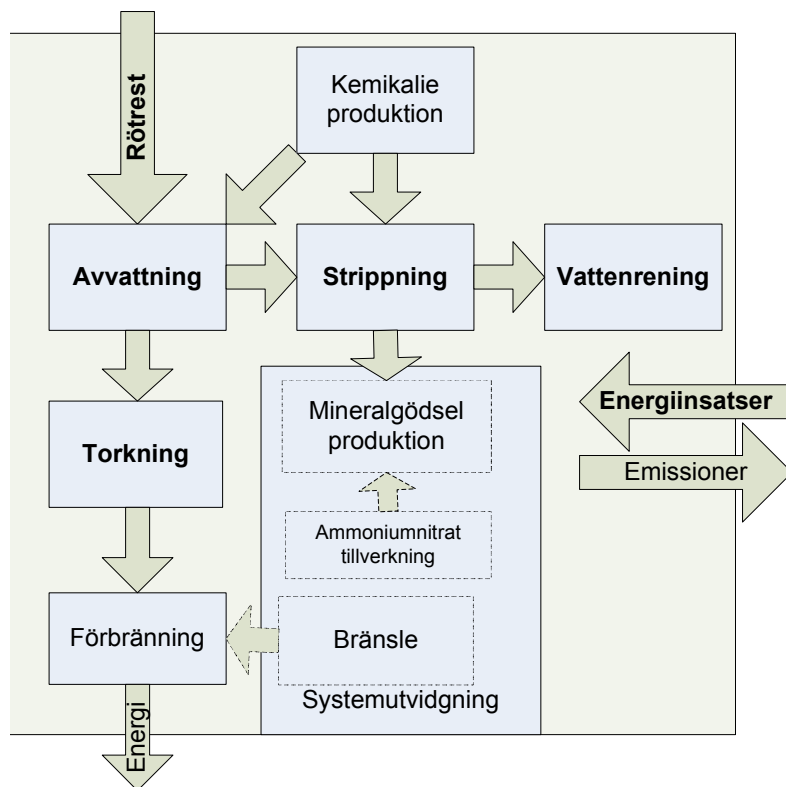
Energiinsatser och miljöpåverkan för rötresthanteringen baseras på de analys- och driftsdata som gjorts tillgängliga av Scandinavian Biogas. Energiinsatser och miljöpåverkan från alternativsystemen bygger på tillgänglig litteratur.



Figur 19. System 1, rötresten går obehandlad ut till jordbruket



Figur 20. System 2, avvattning sker innan rötresten transporteras ut till jordbruket.



Figur 21. System 3, den avvattnade rötresten torkas till för förbränningen lämpligt torrsubstanshalt.

4.1.4 Faktorer för olika utsläpps miljöpåverkan

För att kunna göra jämförelser mellan olika systems miljöpåverkan räknas utsläpp om till ekvivalenta utsläpp av ett fåtal specifika ämnen (Baumann & Tillman 2004). De kategorier som valts här är klimatpåverkan, försurning och övergödning. Klimatpåverkan anges som GWP, Global Warming Potential, det innebär att de enskilda gasernas potential att påverka klimatet relateras till CO₂ som antas ha klimatpåverkan =1. Olika gaser har inte samma uppehållstid i atmosfären, därför görs en uppskattning av klimatpåverkan för olika tidshorisonter, GWP 20 år och GWP 100 år. Försurning anges som SO₂ ekvivalenter och övergödning som fosfatjon, PO₄⁻³ ekvivalenter.

Tabell 5. Miljöpåverkansfaktorer (Baumann & Tillman, 2004)

klimatpåverkan	GWP 100 år	GWP 20 år
CO ₂	1,00	1,00
CH ₄	21,00	56,00
N ₂ O	310,00	280,00
Försurning		
SO ₂	1,00	
HCl	0,88	
NO _x	0,70	
NH ₃	1,88	
Övergödning		
PO ₄ ⁻³ jon = 1	1,00	
P	3,06	
NO _x	0,13	
NO ₂	0,13	
NH ₃	0,35	
NH ₄ ⁺	0,33	
NO ₃ ⁻	0,10	
HNO ₃	0,10	
N	0,42	

Respektive miljöpåverkanskategori anges i följande tabeller som CO₂, SO₂ och PO₄⁻³ vilka motsvarar den viktade miljöpåverkan från olika ämnen.

4.2 Systemkomponenter

4.2.1 Transporter

För att kunna göra jämförelser mellan olika system behövs en enhetlig behandling av transporter tas fram. Transportmedlet antas vara lastbil. En intressant siffra för det här examensarbetet är ett mått på bränsleförbrukning per ton och kilometer då det skulle göra det möjligt att räkna ut energiåtgång och miljöpåverkan per ton obehandlad eller avvattnad rötrest för olika transportavstånd på ett enkelt sätt.

Fyllnadsgraden eller lastfaktor är andelen av bilens maxlast som utnyttjas (Hammarström & Yahya, 2000). Lastfaktorn antas här vara 50 %. Med ett oömt material som rötrest är det rimligt att anta att en lastbil lastas så full som möjligt, men lastbilen antas gå tom på returren. Transporter av rötrest antas huvudsakligen ske på landsväg från biogasanläggning ut till spridningsareal.

Data per ton beräknas med ett redskap framtaget av Nätverket för Trafik och Miljö, NTMcalc (www.ntm.a.se). Programmet inkluderar även energi och utsläpp i samband med tillverkningen av bränsle. Värden hög, låg och medel indikerar osäkerheten i resultatet som ska ses som en indikation på energiförbrukning och utsläpp (NTM). Bränsleförbrukningen för tung lastbil med släp i NTMcalc är i medel 4,9 l/mil fullastad och 3,05 l/mil tom (Hammarström & Yahya, 2000).

En kritik som kan framföras mot resultatet från NTMcalc är att N₂O inte anges eftersom det är en starkt klimatpåverkande gas. I IVL:s miljöfaktabok för bränslen (Uppenberg et.al 2001) anges för tunga fordon ett utsläpp på 3 mg N₂O per MJ Mk1-diesel. En enkel känslighetsanalys med ovanstående siffror och påverkansfaktorer enligt Tillman & Baumann visar att bidraget till klimatåverkan blir i storleksordningen 1,2 % från bränslets N₂O (1,37 g CO₂-ekv i tidshorisonten 100 år). CH₄ – utsläpp anges inte heller. I IVL anges det till 6 mg/MJ MK1-diesel. Klimatpåverkan från dieselns CH₄-utsläpp motsvarar ca 0,4 % av NTM: s resultat på 20 års sikt, och 0,2 % på 100 års sikt. Eftersom resultaten från NTMcalc förövrigt stämmer bra med vad som kan beräknas utifrån IVL:s rekommenderade data så bör bidraget från bränslets N₂O och CH₄ utsläpp kunna försummas.

Tabell 6. Transporternas emissioner baserat på NTMcalc data och metod

Lastbil Euro 3 MK1 diesel		last 36 ton		
1 km med last, 1km tom fyllnadsgrad 50 %		Hög	medel	Låg
Energi [MJ/ton]		1,64	1,48	1,3
Emissioner				
[kg]	CO ₂	0,11	0,11	0,09
[g]	NO _x	0,78	0,7	0,6
[g]	HC	0,2	0,18	0,15
[g]	SO ₂	0,03	0,03	0,02

Den genomsnittliga bränsleförbrukningen blir med NTMcalc ~0,022 l/ton km, baserat på att lastbilen kör full en km och tom en km och ett energiinnehåll i Mk1-diesel= 34,5 MJ/l (Uppenberg et. al, 2001).

Tabell 7 Tabellen avser specifik bränsleförbrukning (l/ton,km) för bilar med total vikt över 16 ton.(tabell 7.9 i Hammarström & Yahya, 2000).

Årsmodell	Kortväga transporter		Långväga transporter		NTM
	Utan släp	Med släp	Utan släp	Med släp	
80-89	0,0992	0,0319	0,0817	0,0198	
90-99	0,0964	0,0288	0,0553	0,02	
medelvärde	0,0988	0,0298	0,0662	0,02	0,022

Rapporten *Uppskattning av representativa bränslefaktorer för tunga lastbilar* har ett par år på nacken, men siffrorna bör vara representativa fortfarande då fokus inom utvecklingen av lastbilmotorer har legat på att förbättra lastbilarnas miljöprestanda med avseende på utsläpp av NO_x och partiklar, något som delvis står i motsättning till högre verkningsgrad och därmed lägre förbrukning (Hammarström, pers. kommentar).

Jämfört med Hammarströms & Yahyas värden (tabell 7) ser uppskattningen av den specifika bränsleförbrukningen ur NTMcalc ut att vara en aning låg om transporterna antas ske delvis genom tätort och på små gårdsvägar. Å andra sidan

anges den specifika bränsleförbrukningen för mjölktankbil med släp till 0,0165 l/ton, km i ovan nämnda rapport (maxlast 35 ton). Mjolktransporter karaktäriseras av stor andel släpanvändning och låg andel kortväga transporter (Hammarström & Yahya, 2000). Transportkedjan för mjölk bör se liknande ut som transportkedjan för rötrest vilket kan indikera att NTM-resultatet är ett rimligt antagande.

Tabell 8 Transportens miljöpåverkan per ton och km

Baserat på medelvärden i NTMcalc			
Klimatpåverkan [kg CO ₂]	försurning [g SO ₂]	Övergödning [g PO ₄ ⁻³]	energi kWh
0,11	0,32	0,06	0,21

Ett närliggande alternativ som kan påverka helheten när det gäller miljö och energi är om transporterna av rötrest kan drivas med biogas från anläggningen. Det skulle framför allt minska klimatpåverkan. Enligt Volvo så skulle en lastbil som går på biogas eller biogas + biodiesel reducera klimatpåverkan med 76 -90% jämfört med fossil diesel (Volvo). Bränslekostnaden ska enligt Volvo vara lägre för biogas och biodiesel än för fossil diesel. Ren biogasdrift av tunga fordon passar bara för en begränsad mängd applikationer enligt Volvo, bland annat för att en dieselmotor inte kan användas. Kombinationen biogas + biodiesel är en mer lovande teknik för tunga transporter. Data på emissioner från tunga fordon i exempelvis Uppenberg et al (2001) är relativt gamla och speglar inte emissioner av exempelvis NO_x och CH₄ från moderna diesel/biogasdrivna lastbilmotorer. Därför är det svårt att göra en rättvis helhetlig bedömning av skillnad i miljöpåverkan om rötresttransporterna drevs med biogas istället för diesel. Enligt Volvos siffror reduceras i alla fall klimatpåverkan betydligt, därför görs en enkel känslighetsanalys nedan för att se hur systemet som helhet påverkas om fossil diesel ersätts med biogas + biodiesel.

Ett mått på medeltransportavståndet inom spridningsarealen är användbart för att göra en uppskattning av transportarbetet i alternativet att sprida rötresten som gödseln. I avsnitt 1.8 föreslås en metod att räkna ut medeltransportavstånd, den har inte varit möjlig att använda här. Istället har ett medeltransportavstånd på 85 km tur och retur anläggningen antagits. Antagandet baseras på medelvärdet av transportavstånden till ett större antal orter inom ett tänkt spridningsområde runt Karlskoga (www.eniro.se). I analysen antas transportavståndet vara 85 km t.o.r.

4.2.2 Spridning av växtnäring

I spridningen av både mineralgödsel och rötrest ingår momenten traktortransport från lagerplats till fält, spridning på fält samt återtransport av utrustning till lagerplats. Även harvning inkluderas i systemet eftersom det är en viktig parameter för att minska ammoniakavgång. Spridningen antas ske innan sådd för den avvattade rötresten. För spridning i växande gröda som också är vanligt i samband med spridning av flytande rötrest kan harvningen försummas.

Data på energi och utsläpp vid spridning är hämtade från JTI rapporten *Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgasemissioner* (Lindgren et al, 2002). Spridning av flytande rötrest antas ske med tankvagn 15 m³, energi och

emissioner antas vara samma som för spridning av urin med samma system. Spridning av fast rötrest antas ske med konventionell fastgödselspridare. Spridning av mineralgödsel antas ske med därför avsedd spridare. Transportavstånd mellan gårdens lager och fält antas till en km i genomsnitt.

Tabell 9 Miljöpåverkan & energiförbrukning från traktortransport och spridningen (per ton rötrest)

	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	försurning [g SO ₂]	övergödning [g PO ₄ ⁻³]	energi kWh
Obehandlad (1 ton)	1,2	1,3	8,8	1,6	4,5
Accept (290 kg)*	1,4	1,4	9,8	1,8	5
Mineralgödsel**	0,06	0,06	0	0	0,2

*motsvarar ett ton obehandlad rötrest som avvattnats.

** utsläpp per kg N, avser spridning av 100 kg N/ha i form av N28 (~350 kg).

Ammoniäkförluster till luften har både övergödande och försurande egenskaper. Vid spridning tidigt på våren eller sen höst är det rimligt att anta ~7-10 % förlust av NH₄-N (se 1.6.2). Här antas 15 % eftersom all spridning knappast sker under ideala förhållanden. N₂O utsläpp antas vara i storleksordningen 1,2 % av det kvarvarande totalkvävet. Tas det hänsyn till de vid spridningen förlorade mängderna NH₃ och de med tiden avgivna N₂O utsläppen så blir miljöpåverkan från spridningen kraftig. I tabell 10 redovisas potentiell påverkan från kväveförlusterna (brutto utsläpp) enligt resonemanget i avsnitt 1.6.2. I resultatet subtraheras utsläppen från mineralgödsel från rötrestens utsläpp eftersom rötrest antas ersätta mineralgödsel (netto utsläpp) eftersom det är skillnader mellan systemen som är intressanta.

Tabell 10 Miljöpåverkan från kväveförluster vid spridning

	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	försurning [kg SO ₂]	övergödning [kg PO ₄ ⁻³]
Obehandlad (1 ton)	36,0	32,6	1,7	0,3
Accept (290 kg)	21,6	19,5	0,6	0,1
Mineralgödsel				
6,06 kg NH ₄ -N*	22,3	19,5	0,1	0,02
2,19 kg NH ₄ -N*	8,1	7,3	0,04	0,01

*motsvarande NH₄-N innehållet i obehandlad (1 ton) respektive avvattnad (0,29 ton) rötrest

4.2.3 Elenergi

En fråga som är förbunden med bedömningen av el-energins miljöpåverkan är om det är marginalet eller nordisk medelvärdet som ska ligga som grund för beräkningar av elanvändningens miljöpåverkan. Marginalet antas oftast idag produceras med kolkondens och ger därmed större utsläpp per kWh än medelvärdet från den nordiska elproduktionen (Sköldberg 2006). Frågan är omstridd, olika aktörer har använt marginal eller medelvärdet beroende på vilken slutsats de vill främja. Energimyndigheten rekommenderar att marginalet används i beslutsammanhang som innebär en förändring i den totala elförbrukningen (Andersson et. al). De flesta förändringar är för små för att påverka produktionen annat än på marginalen. Medelvärdet bör främst användas till uppskattningar av miljöpåverkan från redan konsumerad el (Andersson et. al). En annan syn på saken är att tillkomsten av en stor elförbrukare i systemet i början ligger på marginalen men med tiden kommer att medföra utbyggnad av ny produktionskapacitet, det kallas ”dynamisk störningseffekt” i en rapport om frågeställningen, något som kan medföra att miljöpåverkan minskar med tiden (Sköldberg 2006).

För enkelhets skull redovisas resultat för både marginalet och medelvärdet, men i en förändringsorienterad

Tabell 11 Marginalet enligt Energimyndigheten. Utsläppen inkluderar också tillverkning och distribution av bränslen. (Energimyndigheten b)

[kg/MWh]	NO _x	SO _x	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Kolkondens	0,44	0,72	969	0,02	11,32
Medelvärd*	0,1	0,09	88,1	0,005	0,58

* medelvärde av ett torrår, ett våtår och ett normalår (Energimyndigheten b)

Tabell 12 Miljöpåverkan per kWh elanvändning

	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	[g SO ₂]	[g PO ₄ ⁻³]
Marginalet	1,2	1,6	1,0	0,1
medelvärd	0,1	0,1	0,2	0,0

4.2.4 Avvattning och polymerer

I den avvattningsmetod som hittills prövats vid pilotanläggningen har dekantercentrifug med tillsats av polymer (polyakrylamid) använts. Det har visat sig vara nödvändigt att tillsätta relativt stora mängder polymer till rötslam baserat på dränk, > 10 kg/ton TS. De rester av akrylamid som eventuellt finns i den här typen av polymerer är låga, mindre än 0,1 %, det mesta av eventuella akrylamidrester hamnar i rejektvattnet (>90 %) och akrylamid som kommer ut med slammet bryts ner snabbt i jord (Wahlberg & Paxéus 2003). Några tydliga negativa direkta effekter på markprocesser eller mikrobiologin i marken har inte visats. Det som kan framhållas i ett miljöperspektiv är att polyakrylamidpolymerer bryts ner långsamt, en ackumulation kan förväntas på slamgödslad jord och eventuella effekter av det är inte kända (Wahlberg & Paxéus, 2003). Några siffror på energi

och resursförbrukningen för framställningen av polymerer har inte hittats till undersökningen, varför den posten måste uteslutas ur beräkningen av total energiåtgång och miljöpåverkan.

El-energikostnaden för avvattningen är i storleksordningen ~70 kWh/ton TS för ett ingående substrat med ~3,5 % TS (Jerzy Buczma pers. med.) vilket motsvarar i storleksordningen 5 kWh/ton rötrest (antagande: samma energiåtgång också gäller för 7,3 % TS in).

4.2.5 Ammoniakavdrivning (strippning)

I rejektvattnet från avvattningen finns enligt analysdata ca 65 % av rötrestens kvarvarande ammoniumkväve (NH_4^+) löst. NH_4^+ och ammoniak (NH_3) befinner sig i en jämvikt som är pH- och temperaturberoende, koncentrationen fri ammoniak som kan avgå i gasform ges av följande ekvation:

$$[\text{NH}_3] = ([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+]) / (1 + [\text{H}^+]/K_a)$$

Där K_a är syrakonstanten för den rådande temperaturen, $([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+])$ är total koncentrationen av ammonium (Hashimoto A., 1986; Lei X. 2007). Genom att höja pH genom tillsatser av bas, exempelvis natriumhydroxid, förskjuts jämvikten mot ammoniak. Även temperaturen har stor inverkan på andelen fri ammoniak. Strippningen sker genom att den pH-justerade vätskan möter ett stort motströms luftflöde i ett scrubbortorn (Sagberg P. et. al). Ammoniak avgår som gas, ammoniakgasen fälls ut i nästa processteg med hjälp av stark syra. Används salpetersyra (HNO_3) bildas en lösning med 52 % ammoniumnitrat. Ammoniumnitrat är ett viktigt mineralgödsel. En annan möjlighet är att framställa ammoniumsulfat med hjälp av svavelsyra (H_2SO_4) som eventuellt också kan användas i jordbruket. Vilken syra som ska användas är osäkert, HNO_3 är dyrare än H_2SO_4 , men förmodligen kommer avsättningsmöjligheterna avgöra från fall till fall.

Två reningsverk med erfarenhet av kvävestrippning kontaktades. På Eslövs reningsverk var en strippningsanläggning i drift till april 2006, men stora driftkostnader (framför allt kostnaden för lut) ledde till att den las ner (Embrandt, pers. kom.). På Vestfjordens Avlopsselskap (VEAS) i Oslo finns också en strippningsanläggning. I Oslo justeras pH med hjälp av CaOH_2 , istället för lut vilket blir billigare (Sagberg pers. med.).

Det krävs stora luftflöden i strippningsanläggningar. Hur mycket luft som behövs beror på temperatur och pH i processen. Eslövs statistik på fläktarnas energianvändning var inte längre tillgänglig och måste därför uppskattas (Embrandt, pers. med.). Baserat på de tillgängliga uppgifterna kan energiförbrukningen uppskattas till ca 4,5 kWh/m³. På VEAS ger genomsnittseffekten på pumpar och fläktar på 76 kW och genomsnittsflödet ~38 m³ rejekt/h en energiförbrukning på ~2 kWh/m³. Enligt en offert från samma leverantör som i Eslöv är totala el-effekten 76 kW för de vitala delarna av anläggningen, samt en värmeeffekt på 310 kW (varmvatten). Rejektflödet är enligt

offerten 53 m³/h. Elförbrukningen blir mycket lägre än i Eslöv, ~ 1,4 kWh/m³ (baserat på de tillgängliga uppgifterna). Temperaturen i strippningsanläggningen ska vara 50°C i Karlskoga. Skillnaden i elförbrukningen kan bero på att anläggningen i Eslöv arbetade vid mycket lägre temperatur och därmed behövde ett högre luftflöde än en varmare process. Avskiljningsgraden ska vara 90 % (offert Watergroup).

Baserat på ovanstående antas i beräkningarna en el-förbrukning på 2 kWh/m³ rejektvatten och att en avskiljningsgrad på 90 % av ammoniumkvävet uppnås.

Tillverkningen av salpetersyra är ett steg som är gemensamt för tillverkning av ammoniumnitratgödsel och strippning. Data för produktion av HNO₃ är hämtade i Davis & Höglund (1999).

Tabell 13 Miljöpåverkan och energiåtgång för tillverkningen av 1 kg salpetersyra (HNO₃)

GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	övergödning [g SO ₂]	Försurning [g PO ₄ ⁻³]	Energi [MJ]
1,8	1,9	0,1	0,8	9,1

Tabell 14 Produktion av 1 kg ammoniumnitrat (NH₄NO₃) motsvarande det som kommer från strippningsprocessen (Davis & Haglund, 1999)

GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	försurning [g SO ₂]	övergödning [g PO ₄ ⁻³]	energi [MJ]
1,6	1,6	2,8	0,8	14,3

Ammoniumsulfat (AS) produceras oftast som en biprodukt i andra industriprocesser därför finns det inga uppgifter om produktionen i Davis & Haglund, 1999. Några andra LCI-data har inte heller hittats, därför begränsas den här analysen till strippning med hjälp av HNO₃.

Förbrukningen av HNO₃ (100 %) är teoretiskt ~3,7 kg/ kg NH₄-N (baserat på molvikt och molförhållande). Med 90 % avskiljningsgrad av NH₄-N i inkommande rejektvatten fås ~ 4,2 kg NH₄NO₃ (ammoniumnitrat) för varje kg NH₄-N i rejektvattnet. Enligt de analysdata som ligger till grund för beräkningarna i det här arbetet är NH₄-N koncentrationen i rejektvattnet 4400 mg/l.

4.2.6 Rening av vattnet från strippning

Rejektvattnet från avvattningen innehåller ammoniumkväve och andra lösta växtnäringssämnen samt suspenderat material. Innehållet av fosfor och totalkväve hänger delvis ihop med mängden suspenderat material (Scandinavian Biogas, internt dokument). Kvävestrippningen är känslig för suspenderat material då det kan sätta igen scrubberkolonen. Förutsatt att halten av suspenderat material kan pressas ner till en för strippningen acceptabel nivå så kommer ändå vattnet efter strippningsanläggningen ändå innehålla relativt stora mängder fosfor, kväve och COD (Chemical oxygen demand). Vattnet kommer att behöva renas innan det

släpps till recipient. I skrivande stund är dock mängderna näring och COD (BOD) ut ur processen inte kända, lämplig reningsteknik är också under utredning av Scandinavian Biogas. Därför går det inte att inkludera rejektreningen i analysen.

4.2.7 Torkningsenergi

Eftersom det inte finns någon planerad torkanläggning att utgå ifrån, och att informationssökningen har gett knappa resultat så är det svårt att säga något bestämt om energi- och miljöaspekterna av torkning. I avsnittet om förbränning pekas det på tre alternativ, spillvärme, el och ånga. Ett spillvärmealternativ förbrukar el till fläktar och pumpar, men värmeenergin kan räknas som "gratis" eftersom energin redan använts för ett primärt syfte. Ångan måste framställas vilket medför energiförbrukning någonstans i systemet, miljöpåverkan beror på energikällan. En elbaserad torkanläggnings miljöpåverkan beror på antagande om marginalet eller medelel. I analysen antas torkningen ske med el eftersom det finns tillgängliga data, förbrukningen uppges till 0,3 MWh/ton avdunstat vatten (Hedgren per. med.).

4.3 Alternativsystemen

4.3.1 Bränsle

Alternativprodukten som rötresten ska ersätta beror på under vilka förutsättningar rötresten ska förbrännas. Ett scenario är att den kan säljas som biobränsle, då är det möjligt att den kommer att ersätta torv eftersom förbränningsanläggningen då kan spara in på utgifter för utsläppsrätter (se kapitel 3).

Tabell 15 Miljöpåverkan från förbränning av ett ton torv baserat på IVL:s miljöfakta för bränslen.

GWP 100	GWP 20	försurning	övergödning
[kg CO ₂]	[kg CO ₂]	[kg SO ₂]	[kg PO ₄ ⁻³]
1001	935,3	2,1	0,1

4.3.2 Mineralgödsel

Mineralgödselproduktion är en energiintensiv industri, 2001 stod mineralgödselproduktionen för ca 1 % av världens energiförbrukning (Ramirez & Worrel, 2005). Den största andelen står kvävegödselproduktionen för. Naturgas är den vanligaste råvaran och energikällan för kvävegödselproduktion. (Ramirez & Worrel, 2005) I absoluta tal blir siffrorna enorma, men det som är intressant i det här sammanhanget är hur mycket energi ett kg mineralgödsel motsvarar.

Hur mycket energi som går åt till att producera ett kg gödselmedel varierar med vilken typ av råvaror som ingår, en hög kväveandel driver upp energiåtgången. Enligt YARA motsvarar ett kg N i form av ammoniumnitrat ca 0,6 kg förbrukad naturgas (Yara c).

Tabell 16 Total energiåtgång från råvaruextraktion till färdig gödselprodukt, per kg N (Davis & Haglund, 1999)

energi [MJ/kg]	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	försurning [g SO ₂]	övergödning [g PO ₄ ⁻³]
44	4,7	4,6	10,1	2,1

Davis & Haglunds studie börjar bli gammal, men den är väldigt använd även i nyare publikationer. Enligt Davis är framför allt lustgasemissionerna lägre med dagens moderna teknik (pers kommunikation). Enligt Tore Jensen, miljö och säkerhetschef på Yara ASA, har utsläppen av N₂O i samband med tillverkning av HNO₃ minskat mycket de senaste åren. Enligt Jenssen är ett N₂O-utsläpp på 1,5 kg/ton tillverkad HNO₃ ett rimligt antagande (22/1-08 personligt meddelande). I emissionsdata för de gödselmedel som innehåller HNO₃ i Davis & Haglund reduceras i detta arbete N₂O-utsläppen med en faktor 0,6 baserat på ett moderat antagande om utsläpps reduktion på 60 % (Jenssen & Kongshaug 2003).

Trippelsuperfosfat (tabell 17) brukar användas i LCA sammanhang för att spegla fosforgödselmedlens energi och miljöpåverkan i produktionsledet (Davis, pers. med).

Tabell 17 Tillverkningen av fosforgödsel (TSP) (Davis & Höglund 1999).

Energi MJ	GWP 100 år [kg CO ₂]	GWP 20 år [kg CO ₂]	Försurning [g SO ₂]	Övergödning [g PO ₄ ⁻³]
13,4	1,4	1,5	18,8	5,5

I dataunderlaget fanns inga data för ett rent kaliumgödsel, men det finns data på ett NK gödsel. Därför har det gjorts ett antagande om att det går att subtrahera miljöpåverkan och energiåtgång för den ingående andelen ammoniumnitrat. Antagandet verkar ha gjorts tidigare eftersom ett motsvarande värde på kWh/kg K anges i ett faktablad från SLU (SLU 2001).

Tabell 18 Energiåtgång per kg K. (Davis & Haglund, 1999)

NK 20-15* (20 % N, 15 % K)	MJ/kg	kWh/kg
energi total	9,9	
energi för N/kg produkt	9,1	
energi för K ₂ O/kg produkt	0,7	
MJ per kg K ₂ O	4,8	~1,4

*Ett antagande om att det inerta utfyllnadsmaterialet har så låg energiinsats och miljöpåverkan att det kan försummas har gjorts.

Tabell 19 Miljöpåverkan från framställning av kaliumgödsel

GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	försurning [g SO ₂]	övergödning [g PO ₄ ⁻³]	energi [MJ/kg]
0,4	0,4	5,3	1,7	4,9

4.3.3 Transporten av mineralgödsel

En av de dominerande leverantörerna av mineralgödsel i Sverige är YARA, deras kvävegödsel tillverkas i stor utsträckning i Norge, här antas att den kommer från Porsgrunn. PK-gödsel importeras från Holland/Belgien. Hamnen i Norrköping är troligast för distribution till Örebrotrakten (YARA, pers. kommunikation). Energi och miljöpåverkan är beräknat med NTMcalc.

Mellanstort fartyg antas användas till transporten på 1800 km från Rotterdam till Norrköping (tabell 20). Kvävegödsel transporteras 1000 km från Porsgrunn till Norrköping. Det höga utsläppet av svavel beror på den maximalt tillåtna nivån 1,5 % svavel i bränslet (Naturvårdsverket A). För transport Norrköping-Örebro (117 km) antas tung lastbil användas. Medeldistributionsavstånd från Örebro till gård antas vara 60 km t.o.r. med distributionsbil.

Tabell 20 Transporter i mineralgödselsystemet. (Baserat på www.NTM.a.se)

Transporter av mineralgödsel beräknade med NTMcalc

Transport avstånd	Transport energi [MJ/ton]	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	försurning [g SO ₂]	övergödning [g PO ₄ ⁻³]
1980 km (PK)	726	53,5	53,5	1113,6	137,5
1200 km (N)	486	35,5	35,5	652,6	81,6

Tabell 21 Sammanfattning av mineralgödseltillverkningens miljöpåverkan och energikostnad per kg NPK.

	energi [MJ/kg]	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	försurning [g SO ₂]	övergödning [g PO ₄ ⁻³]
kväve	44,5	4,71	4,68	10,72	0,08
fosfor	14,1	1,49	1,57	10,11	2,76
kalium	5,6	0,5	0,47	6,4	1,71

4.4 Primärenergifaktorer

För att leverera en nyttig energienhet, en kWh el eller en liter diesel behövs primära energiinsatser i produktion och distribution. En primärenergifaktor definieras som kvoten mellan den insatta primärenergimängden och den nyttiga levererade energimängden (Forsberg et. al 2006). Meningen med att räkna om energiförbrukning från olika energibärare är att öka jämförbarheten mellan exempelvis elanvändning och värmeenergiförbrukning.

De data på miljöpåverkan som anges ovan för de olika momenten i rötresthanteringen bygger alla på källor som har tagit hänsyn till primärenergianvändningen. Energiförbrukningen i form av el och drivmedel för moment som exempelvis avvattning eller spridning har inte korrigerats med primärenergifaktorer hittills. För att kunna göra en energibalans mellan energiförbrukningen i rötresthanteringssystemen och den energi som kan

nyttiggöras i form av bränsle eller den energin som sparas i form av mineralgödsel som inte behöver produceras behöver alla energibärare relateras till primärenergi.

Primärenergifaktorer för diesel antas till 1,1 MJ primärenergi/MJ diesel (Berglund & Börjesson 2003). När det gäller el spelar det roll vilken sorts el som antas användas. Primärenergifaktorer för medelel (nordisk el-mix) antas till 1,59 medelel och marginalet 2,74, skillnaden beror på antaganden om totalverkningsgraden i elproduktionen (Forsberg et. al 2006).

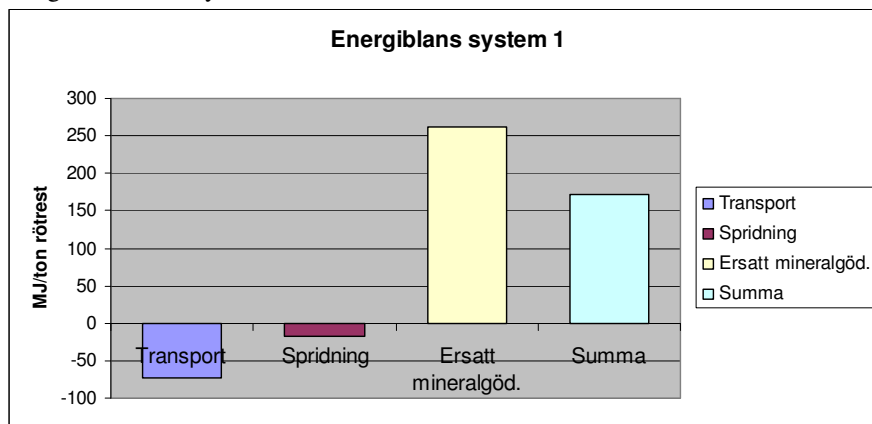
4.5 Resultat - energiåtgång och miljöpåverkan från systemen

Data för de olika momenten och delarna i systemen sammanställs och relateras till den funktionella enheten ett ton obehandlad rötrest. Resultaten presenteras i stapeldiagram. Se bilagor för detaljer.

4.5.1 Energibalans

Energiinsatser och energivinster i de olika systemen redovisas nedan. Skillnaden mellan energiinsatser och energivinster är positiv för alla tre systemen, det innebär att totalt sett blir det en besparing eller ett överskott av primärenergi. En enkel energikvot definieras som kvoten mellan primärenergivinst/besparing och primärenergiinsatsen i systemet, ju högre kvot desto energieffektivare är systemet.

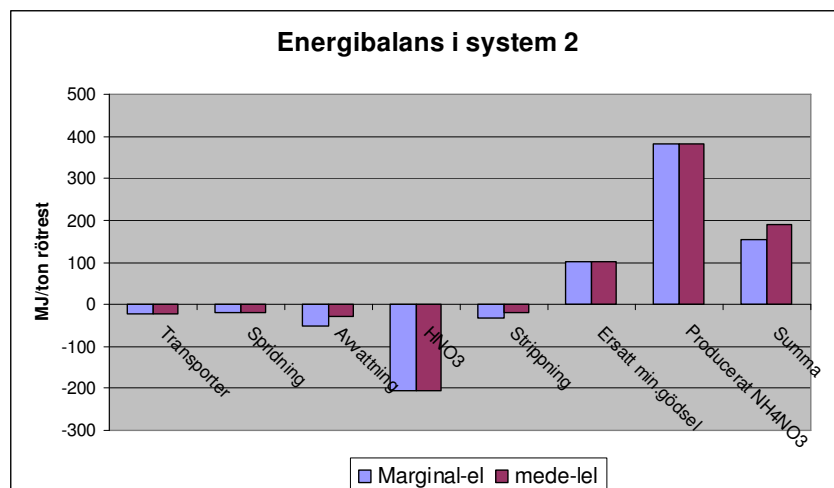
System 1 innefattar få moment (figur 22), det är främst antaganden om transportavstånd som kan påverka energibalansen. Besparingen i primärenergi som ersatt mängd mineralgödseln representerar är nästan 3 gånger större än energiinsatserna i systemet.



Figur 22. Energiinsatser och energivinster i system 1 per ton rötrest som sprids obehandlad på jordbrukmark (observera att det är olika skalor på Y-axeln i figur 22, 23 och 24)

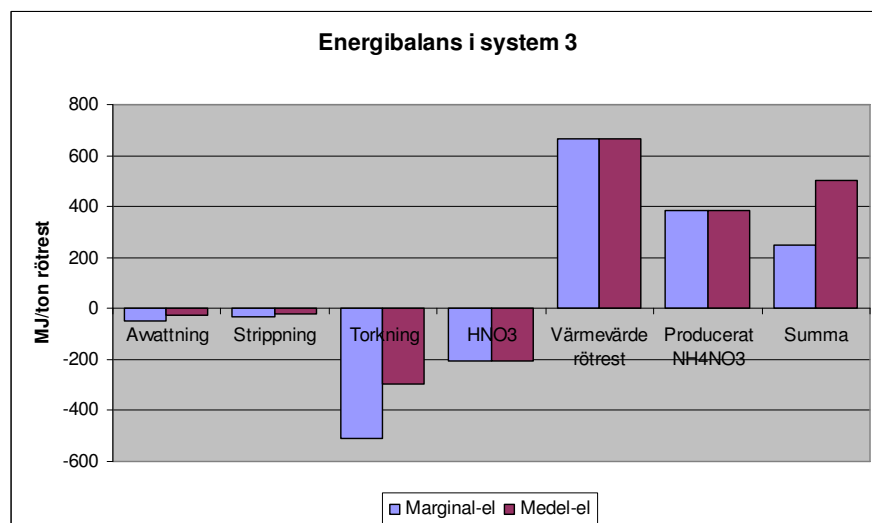
I system 2 är omsättningen av energi större än i system 1, fler energianvändande moment tillkommer. Störst inverkan på resultatet får användningen av insatskemikalier i strippningen och produktionen av ammoniumnitrat. Antaganden om marginal eller medelel ger skillnad i resultatet på grund av

primärenergifaktorerna. System 2 har lägst kvot mellan utvunnen och insatt energi av de tre alternativen

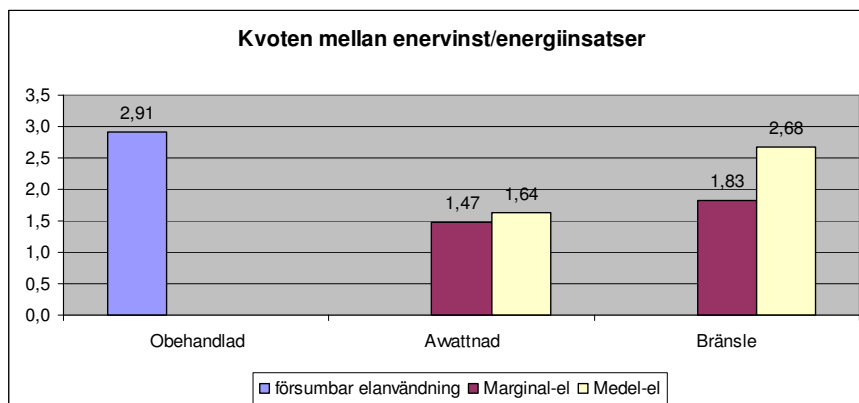


Figur 23. Energibalans för spridning av rörest som avvattnats innan den sprids. Jämfört med system 1 har transporternas andel minskat, men andra energiförbrukande moment tillkommer.

I system 3 (figur 24) omsätts mest energi av de tre systemen, men primärenergiöverskottet är också störst i detta system eftersom värmevärdet i det organiska materialet görs tillgängligt. Energikvoten (figur 25) påverkas mycket av antagande om marginal- eller medel-el, det beror på antagandet att el används i torkningen. Bilden skulle bli en annan om exempelvis biobränsle genererade energin till torkning.



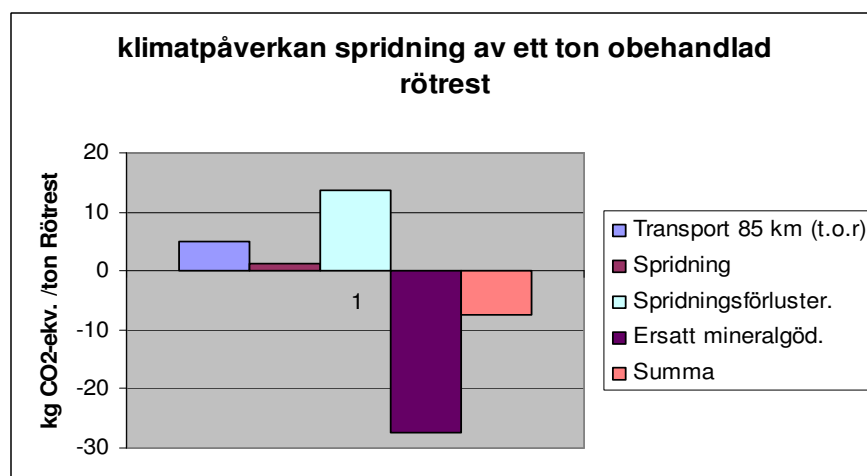
Figur 24. Energibalans för ett ton rörest som avvattnas och torkas till ett bränsle med 60 % TS.



Figur 25. Energikvoten mellan primärenergivinst eller besparing och primärenergiinsatser i systemen

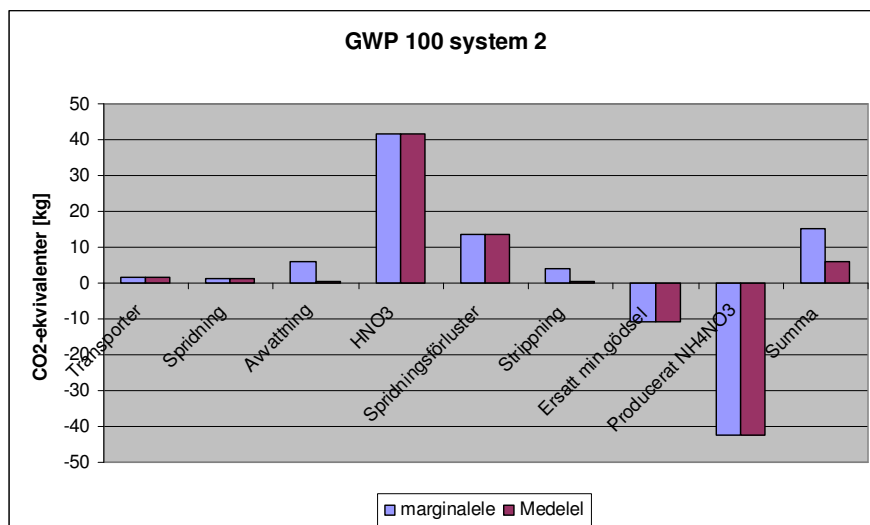
4.5.2 Klimatpåverkan

För system 2 & 3 som använder mycket el får antagandet om marginalet (figur 27 & 28) eller medelel stor betydelse för miljöpåverkan. Då särskilt på klimatpåverkan eftersom marginalet antas utgöras av kolkondens (se avsnitt 4.2.4). Antagandet om N₂O-utsläpp från den spridna rötresten påverkar klimatkategorin i system 1 & 2 i hög grad (figur 27 & 28).



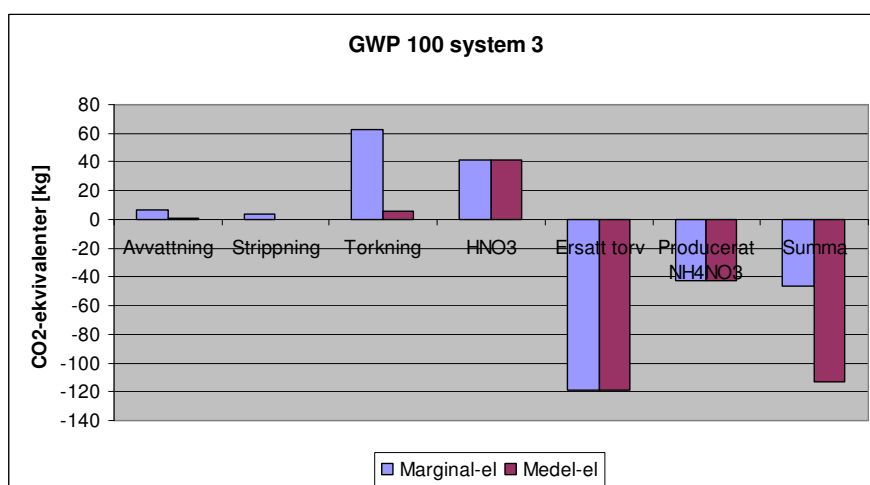
Figur 26. Klimatpåverkan på 100 års sikt om rötresten transporteras ut obehandlad till jordbruk.

Det som kan sägas om system 2, avvattning av rötresten är att systemlösningen ger ett netto utsläpp av klimatpåverkande gaser totalt sett.



Figur 27. Klimatpåverkan (på 100 års sikt) från ett ton avvattnad rötrest till åker

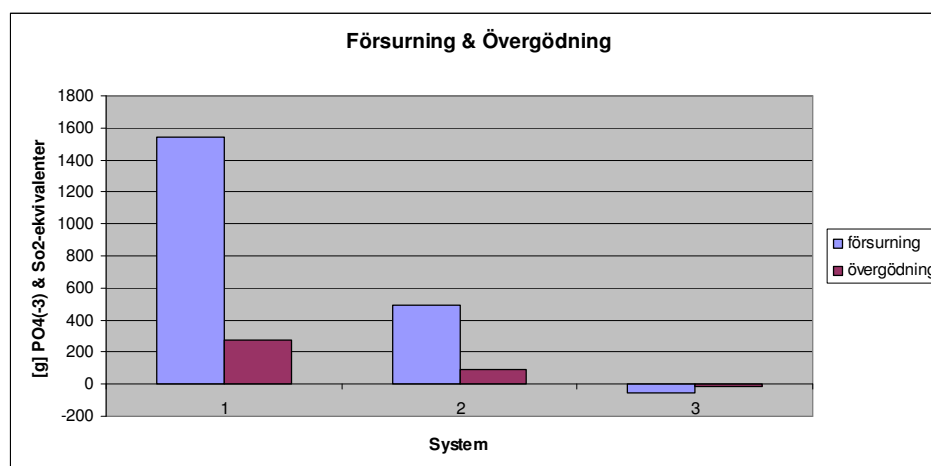
Produktion av syra till strippningen innebär stora utsläpp av klimatpåverkande gaser. Samtidigt bidrar produktionen av nitrat till att systemet kan tillgodoräknas en reduktion i nästan samma storleksordning, något som gäller både system 2 & 3, se figur 27 & 28.



Figur 28. Klimatpåverkan på 100 års sikt för system 3.

4.5.3 Försurning och övergödning

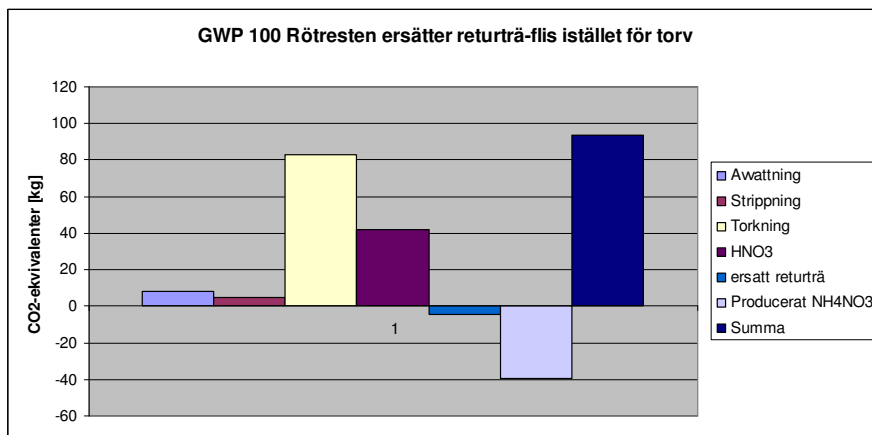
När det gäller försurning och övergödning är det framför allt antaganden om spridningsförluster som får inverkan på resultatet. Spridningsförlusterna av NH_3 står för nästan hela den potentiella miljöpåverkan. När det gäller förbränning av rötresten är det svårt att säga något om utsläpp av försurande och övergödande ämnen eftersom reningsförutsättningarna varierar på olika anläggningar (se 2.4). Det skulle behövas förbränningsförsök med rötrest för att något definitivt ska kunna sägas, potentiell försurning för system 3. Staplarna för system 3 i figur 30 innefattar i princip bara utsläppsreduktionen från ersatt ammoniumnitrat (från strippningen).



Figur 29. Försurning och övergödning per ton rötrest. Förlusterna (15 %) av NH_3 står för den största delen av utsläppen i systemen där rötresten sprids på åker.

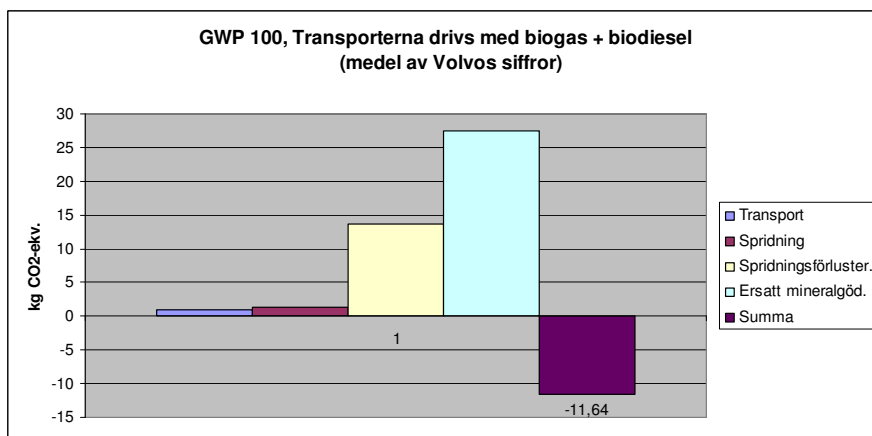
4.6 Känslighetsanalys

Rötrestbränslet antas ersätta torv som räknas som fossilt när det gäller utsläpp av CO_2 . Ersätter istället rötresten ett annat biobränsle, exempelvis flis av returträ så uppstår en netto klimatpåverkan eftersom systemet då inte kan tillgodoräkna sig någon reduktion av CO_2 -utsläpp som motsvarar värmeverdets.



Figur 30. System 3, rötresten torkas till 60 % TS och ersätter returträflis i ett fjärrvärmeverk (antagande om marginalet).

Om Biogas används istället för diesel i transporten av rötresten kan klimatpåverkan reduceras med 76 – 90 % enligt Volvo. I figur 29 har klimatpåverkan från transporten av ett ton obehandlad rötrest reducerats med medelvärdet 83 %. Förändringen är kraftig, från -7,4 till -11,6 kg CO₂-ekvivalenter.



Figur 31. System1, biogas + biodiesel ersätter fossil diesel i transporterna

En enkel uppskattning av övergödande utsläpp från reningen av rejecktatten kan göras utgående från förhållanden vid det lokala reningsverket i Karlskoga (redovisas i bilaga 5). Utifrån uppskattningen är det rimligt att anta ett övergödande utsläpp motsvarande ~8,3 g PO₄⁻³-ekvivalenter/ton rötrest. Det kan jämföras med ca 320 respektive 110 g PO₄⁻³-ekvivalenter/ton rötrest från NH₃-förluster vid spridning på åker.

4.7 Diskussion

Avsikten med kapitel 4 är att visa hur olika moment i hanteringssystemen påverkar energiförbrukning och miljö. Med den kunskapen är det möjligt att göra förändringar i systemet för att göra hanteringen av rötresten så miljövänlig och energieffektiv som möjligt.

Resultaten påverkas mycket av de antaganden som ligger bakom beräkningarna. Det blir särskilt tydligt i de moment där el används eftersom både marginal och medelredovisas. Meningen är att försöka representera elanvändningens miljöpåverkan över tid (se 3.2.4), men entydigheten i resultaten kan bli lidande. Å andra sidan blir det också tydligt att en anläggning kan påverka sin totala miljöpåverkan genom val av exempelvis förnybar elproduktion. Analysen är ofullständig då data för polymerer och CaOH_2 inte hittats. Att inte reningen av rejektet efter strippningen kunnat tas med i analysen innebär förmodligen att miljöpåverkan och energiförbrukning för system 2 och 3 underskattas.

Energibalansmässigt så får energin som skulle ha konsumerats i tillverkningen av ersatt mineralgödsel stort genomslag i resultatet. Den energimängden uppväger energiinsatsen i att transportera och sprida obehandlad rötrest (antaget transportavstånd totalt 85 km). Resultatet av analysen visar på att system 1 kommer ha större energiinsatser i form av energibärare som en anläggning kommer att få betala direkt för (framföra allt diesel) jämfört med system 2. Å andra sidan kommer processkemikalier att innebära stora indirekta energiinsatser i system 2 (och 3). Energiinsatserna för att tillverka ett bränsle av rötresten är mycket större än energiinsatserna i de andra systemen. Energibalansen är också i en helt annan storleksordning eftersom det organiska materialets värmevärde räknas med.

Användning av biogas i rötreststransporterna är ett alternativ som bör undersökas vidare. Dels så minskas klimatpåverkan betraktligt (figur 31), dels kan bränslekostnaderna minska. Enligt Volvo så kan kostnaderna halveras i bästa fall, dessutom har en biogasanläggning tillgång till gas utan fördyrande mellanhänder. En annan anledning är biogasdrift kan visa på ett helhetstänkande från anläggningens sida, anläggningens produkter kan bli värdefullare ur ett hållbarhetsperspektiv om beroendet av fossila energiinsatser kan minimeras.

Ett moment som visar sig ha stor potentiell miljöpåverkan i system 1 & 2 är spridningsförluster av ammoniak och lustgas (figur 26, 27 & 29). Ett antagande om ca 1,2 % kväveavgång i form av N_2O ger stora utslag på klimatkategorin, större än transporternas andel. Också antagandet om 15 % NH_3 förlust vid spridning och lagring (se kapitel 2 om kväveförluster) får stora miljöeffekter. Effekterna av NH_3 -utsläppen är flera storleksordningar större än utsläpp som påverkar försurning och övergödning från exempelvis transporterna. Användning av rätt sorts spridningsteknik kommer alltså att ha stor betydelse för att begränsa miljöpåverkan vid återföring av näringsämnen till jordbruket.

5 Karlskoga

Avsikten med detta kapitel är att visa på ett metodiskt sätt att avgöra de olika alternativens förutsättningar i fallet Karlskoga bioenergikombinat.

Några generella kriterier för att bedöma ett hanteringssystems möjligheter har vaskats fram under arbetet med den här studien:

Omgivningens förutsättningar är viktiga att kartlägga tidigt, de sätter tillsammans med lagar och regler ramar för vad som är praktiskt möjligt. Det kan gälla tillgänglig jordbruksmark eller möjliga bränslekonsumenter i en region m.m.

Rötrestens egenskaper och flöden. För att kunna bedöma hur väl rötresten kan fylla en funktion måste dess egenskaper vara kända. Flödena måste också vara väl kända för att avsättningsmöjligheterna ska kunna bedömas. I den analysen blir det nödvändigt att kartlägga hjälpsystem som måste till för att uppnå önskad funktion, exempelvis transport eller torkning m.m.

För att jämföra olika system sinsemellan behöver energiförbrukning, kostnader/intäkter och miljöpåverkan kvantifieras för de olika delmomenten som ingår i varje system.

5.1 Användning av rötresten inom jordbruket

5.1.1 Lagar och regler.

Begränsningen på hur mycket fosfor som får spridas är en sak som en anläggning måste förhålla sig till om avsikten är att rötresten ska få avsättning i jordbruket. Den nödvändiga arealens storlek kommer i hög grad avgöras av rötrestens innehåll av fosfor. Begränsningen ligger på 22 kg/ha och år som ett genomsnitt över 5 år.

Spridningssäsongen för rötresten begränsas av att stora delar av den potentiella spridningsarealen i Karlskogas närhet räknas som känsligt område. Om marken är frusen eller snötäckt får ingen spridning ske, spridning får inte heller ske 1 januari till 25 februari. Lagringen ska klara tio månaders produktion och lagringsbehållare ska vara försedda med tak om de placeras i känsliga områden.

5.1.2 Omgivningarna - Potentiell spridningsareal i trakten runt Karlskoga

I närheten av Karlskoga finns större jordbruksareal öster och sydöst på Närkeslätten (figur 32) samt västerut mellan Kristinehamn och Karlstad (figur 33). I kommunerna inom ett transportavstånd på 30 km finns ca 28 000 ha jordbruksmark varav ca 11000 är spannmålsareal. Inom ett transportavstånd på ~ 60 km finns ytterligare ca 60 000 ha varav hälften är spannmålsareal. Den största delen finns i Örebro kommun, ca 40-50 km från Karlskoga (SCB, a). Totalt finns runt 40 000 ha spannmål inom 60 km. Åkerarealen är ojämnt fördelad, främst koncentrerad till slättlandskapet i Örebro läns mellersta delar (se figur 32).



Figur 32. Satellitbild där de ljusa områdena är jordbruksmark eller bebyggelse. Den vita linjen motsvarar 50 km fågelvägen. (Google Earth)



Figur 33. Jordbruksmark västerut kan ses som ljusare områden. Vit linje motsvarar 50 km fågelvägen.

Jämförs data (Jordbruksverket 2007a) på spannmålsareal per kommun 2006 med antal jordbruksföretag med spannmålsodling per kommun fås ett grovt genomsnitt som säger något om storleken på gårdarna. Stora aktörer är möjligtvis intressantare när hanteringen blir så här storskalig.

Tabell 22 Statistik över spannmålsodling och transportavstånd mellan Karlskoga och kommuner med potentiell spridningsareal

1 Kommun			
2 Spannmålsareal 2006 (ha)			
3 Genomsnittlig areal/ spannmålsodlare			
4 Ungefärligt avstånd till tätort från Karlskoga (km)			
1	2	3	4
DEGERFORS	771	24,9	14
HALLSBERG	4 686	33,7	60
KARLSKOGA	881	26,7	
KRISTINEHAMN	3 830	35,1	27
KUMLA	5 430	40,2	53
LEKEBERG	5 539	36,2	16
NORA	260	11,3	43
STORFORS	350	29,2	30
ÖREBRO	20 158	43,2	45
Inom ~60 km	41900	(källa: jordbruksverket b och Eniro.se)	

Hälften av Örebro läns jordbruksareal är enbart gödslad med mineralgödsel (SCB b) och på slättlandet dominerar rena spannmålsgräsmåsar (Anderson pers. kom.). Om ett antagande görs att ca 50-60 % av den mineralgödslade spannmålsarealen är potentiell spridningsareal på lite längre sikt (se kap. 2) så finns ca 20 000 ha potentiell spridningsareal inom ~60 km transportavstånd. Därtill kommer eventuella möjligheter att sprida rötresten på energiskog (~1250 ha) och andra grödor såsom potatis, oljeväxter m.m. (ca 8500 ha i avsättningsområdet). Så länge inga spår av animaliska produkter finns i rötresten kan den också spridas på slåttervall och foderodling (RVF 2005:10). Det skulle innebära att ytterligare ca 25 000 ha finns tillgängliga inom 60 km (JSV a), med reservationen att denna areal kan vara kopplad till djurhållning och därmed i mindre behov av organiska gödningsmedel.

5.1.3 Rötrestens egenskaper och flöden - gödsealternativet

Tabell 23. Växtnäringsinnehåll i olika rötrestfraktioner baserat på analysdata från Scandinavian Biogas Pilotanläggning i Norrköping.

Obehandlad flytande rötrest			Acceptet 25 % TS*	Rejektvatten**
Växtnäring	benämning	kg/ton	kg/ton	kg/ton
Totalkväve	TOT- N	10,6	21	6,5
Ammonium kväve	NH ₄ -N	6,06	7,50***	4,4
Totalfosfor	Tot-P	1,54	4,13	0,23
Totalkalium	Tot-K	1,97	1,18	0,91
Svavel	S	1,15	3,85	-
Kalcium	Ca	0,2	0,78	0,02
Magnesium	Mg	0,49	2,33	-

* motsvarar TS från 3,42 ton obehandlad rötrest

** ett ton obehandlad rötrest motsvarar ca 1,58 ton rejektvatten.

*** NH₄-N konc. Från analysdata, om ett antagande görs att allt ammonium befinner sig i vattenfasen borde koncentrationen vara ca 3,3 kg/ton accept. Det tyder på att en stor andel av NH₄-N är partikelbundet på något sätt, kanske pga. polymererna.

Rötresten från anläggningen i Karlskoga kommer att vara relativt rik på kväve, andra större biogasanläggningars flytande rötrest innehåller typiskt 3-7 kg totalkväve per ton (RVF 2005:10).

Tabell 24 Flöden i Karlskoga anläggningen

Flöden vid kontinuerlig full drift:						
	Rötrest 7,3 % TS	Torrsubstans	TOT-N	Ammonium-N	TOT-P	K
Ton/år	~450 000	~33060	4 800	~2 740	~700	~900
ton/dygn	1360	~100	14	8	2	3

5.1.4 Nödvändiga spridningsareal

Utgångspunkten för att beräkna den nödvändiga spridningsarealen bör vara fosforbegränsningen på 22 kg/ha och år i genomsnitt över 5 år. Totalmängden fosfor är enligt analysdata ca 700 ton per år vilket medför ett arealbehov enligt tabell 25

Tabell 25 Arealbehov för spridning av rötrester från Karlskoga

Förutsättning	rötrest	nödvändig areal (ha)	mängd ton/ha	N (NH ₄ -N):P:K kg/ha
22 kg P/ha,år	obehandlad	31 600	14,3	152(83):22:28
22 kg P/ha,år	Avvattnad	24 700*	5,33	112(40):22:6
25 % TS				

* ca 70 % av fosfor återstår i den fasta fraktionen efter avvattning.

Tabell 26 Nödvändig areal i förhållande till tillgänglig spannmålsareal

22 kg P/ha,år	Nödvändig areal (ha)	Total åkerareal inom 60 km	Andel av total areal (%)	Andel av spannmålsareal inom < 60 km (%)
Obehandlad rötrest	31 600	92 000	34	76
Avvattnad rötrest	24 700	-	27	66

Mängden växttillgängligt kväve som sprids med rötresten är mycket lägre än normala givor för intensiv spannmålsodling (se kapitel 2), speciellt gäller det en avvattnad fraktion. En möjlighet är att sprida den mängd rötrest som krävs för att täcka kvävebehovet. Behovet av spridningsareal kommer dock att inte att minska eftersom det kommer att bli nödvändigt att rotera mellan olika spridningsområden för att uppfylla fosforbegränsningarna. Vid 130 kg NH₄-N/ha kan arealen användas tre år av fem. Vinsten skulle kunna vara att lantbrukaren kan täcka hela växtnäringsbehovet med rötrest vilket kan vara attraktivt om rötresten är godkänd för ekologisk odling. En överslagsräkning på hur stor areal rötrestens kväveinnehåll räcker till kan göras utifrån SCB:s siffror på användningen av näringsämnen 2003 i Örebro län ([Jordbruksverket a](#)). Enligt statistiken var medelgivan ca 105 kg totalkväve (93 kg växttillgängligt), 20 kg fosfor och 56 kg kalium per hektar. Kvävebehovet för spannmål är dock högre, 130-150 kg N/ha höstvet (se 1.4.1).

Tabell 27 Spridning med avseende på NH₄-N

Förutsättning:	rötrest	nödvändig areal (ha/år)	mängd ton/ha	N (NH ₄ -N):P:K kg/ha
93 kg NH ₄ -N/ha	obehandlad	32341	15,35	163(93):24:30
93 kg NH ₄ -N/ha	25 % TS	11689	12,4	260(93):51:15
130kg NH ₄ -N /ha (brödsäd, höst)	obehandlad	23136	21,5	227(130):33:42

Två saker är tydliga, arealbehovet och transportarbetet blir väldigt stort om inte rötresten avvattnas. Jämförs arealbehovet med tillgänglig areal enligt ovan så framgår det att mängden obehandlad rötrest överstiger antagandet om potentiell avsättningsareal (spannmål). Vidare är sammansättningen av näringsämnen inte optimal som komplett gödslingsmedel. Det gäller framför allt den avvattnade rötresten. Den avvattnade fraktionen bör kanske användas som fosforgödselmedel snarare än ett kvävegödselmedel, det är dock vanligt att komplettera rötrest med mineralgödsel (RVF 2005).

5.1.5 Transporter och spridning

Från Karlskoga till de större sammanhängande jordbruksområdena på Närke-slätten är det först en transportsträcka på ca 28 km. Åt andra hållet är det ca 27 km till Kristinehamn, ytterligare transporter tillkommer för att nå ut i jordbruksområdena. De långa avstånden till potentiella spridningsområden är negativt när det gäller storskalig användning av rötresten i jordbruket, det är få biogasanläggningar i Sverige som transporterar rötresterna särskilt långt.

Metoden att beräkna medeltransportavståndet som föreslås i kapitel 2 har inte kunnat användas här eftersom tillgång på nödvändiga data har saknats. Istället har avståndet och restiden från Karlskoga till ca 50 orter i jordbruksområdena inom 60 km transportavstånd tagits fram med hjälp av en kartfunktion på Internet (www.eniro.se), sedan har ett medelvärde tagits av de avstånden. Tur och retur blir avståndet ca 85 km. Transporterna av obehandlad respektive avvattnad rötrest använder ca 850 respektive 250 m³ diesel per år, baserat på en snittförbrukning på 0,022 l diesel/ton och km. Energiinnehållet i dieseln motsvarar ungefär 3 respektive 1 % av den producerade gasen,

Spridning har en ungefärlig energiförbrukning motsvarande 0,4-0,5 l/diesel per ton rötrest. Totalt sett kommer spridningen av obehandlad respektive avvattnad rötrest att konsumera energi motsvarande 0,75 respektive 0,25 % av den producerade gasen (270 GWh).

5.1.6 Certifiering av rötresten i Karlskoga

Rötresten som den är direkt ur rötkammaren bör utan några större problem kunna bli godkänd för KRAV-odling. Inte heller certifiering enligt SPCR 120 bör innebära några problem. Rötad drank från biogasanläggningen på Händelö i Norrköping har tidigare blivit godkänd enligt båda certifieringssystemen. Den slutsatsen gäller för obehandlad rötrest, förutsatt att den även i fortsättningen bara baserar sig på drank. Dranken kommer in i biogasanläggningen med en temperatur på ca 80°C och systemet är slutet från inmatning av drank till utmatning av rötrest. Utformningen på processen medför i princip att kravet på hygienisering bör vara uppfyllt. En hygieniseringskontroll under kvalifikationsåret borde undanröja eventuella osäkerheter. Med det exemplet i åtanke bör det inte föreligga några hinder vad gäller hygienisering i vägen för att certifiera obehandlad rötrest från Scandgas^{ethanol} - konceptet.

De polymerer som ska användas i avvattningen av rötresten finns inte med på listor över godkända processhjälpmedel vare sig i KRAV eller i SPCR 120. De långsiktiga konsekvenserna av att sprida stora mängder polymerer är inte kända (Wahlberg & Paxéus, 2003), något som säkert kommer att göra det svårt att få polymererna godkända som processhjälpmedel. En möjlighet kan vara att inleda en diskussion med SPCR 120- reglernas styrgrupp om att få polymerer tillåtna som processhjälpmedel. Det skulle dock krävas att polymererna bevisligen inte har några miljömässigt negativa effekter (von Bahr, pers. med.).

Någon form av certifiering verkar vara nödvändigt om målet är att få avsättning för rötresten i jordbruket. Stora aktörer som Svenskt Sigill och Lantmännen kräver kvalitetssäkringssystem för organiska gödselmedel som ska spridas hos deras odlare (se avsnitt 1.3).

5.2 Användningen av rötresten som bränsle i Karlskoga

5.2.1 Lagar och regler som får betydelse vid förbränning av rötresten.

Det som står i avsnitt 2.1 är skrivet med utgångspunkt i Karlskogafallet.

5.2.2 Omgivningen - Karlskoga kraftvärmeverk



Figur 34. Översiktsbild på Karlskoga bioenergikombinat med KVV, etanolfabrik samt biogasanläggning.

Karlskoga kraftvärmeverk har 5 pannor. En 15 MW rosterpanna (A-blocket) där hushållsavfall förbränns. Den pannan fungerar som baslast hela året. Det så kallade C-blocket består av två 40 MW cirkulerande fluidbädd (CFB)-pannor för torv, flis av returträ (RT-flis) samt biomal (animaliskt avfall). Förutom dessa finns två 25 MW oljepannor som sätts in vid behov (B-blocket). En 13,5 MW ångturbin genererar ca 35 GWh el per år i dagsläget (miljörapport KVV).

Kraftvärmeverkets uppgift i bioenergikombinatet är att generera ca 160 GWh/år processånga till etanolfabriken. Energin till ångproduktionen är i dagsläget tänkt att tas från den producerade biogasen. Ungefär 190 GWh biogas kommer att behövas per år till produktionen av ånga och ca 12 GWh el. Biogasen ska förbrännas i B-blockets oljepannor.

Om rötresten kan förbrännas för att täcka en del av energibehovet så kan biogasen uppgraderas till fordonsbränsle. Rötresten ska i så fall förbrännas i C-blockets pannor. Planerad förbränning 2008 är 180 GWh RT-flis, 60 GWh torv och 50 GWh biomal i C-blocket. Drifttiden är ca 4500 timmar, så på årsbas utnyttjas inte kapaciteten i pannorna fullt ut. Kapacitetsmässigt körs CFB pannorna fullt först då det är minusgrader eftersom A-blockets rosterpanna är baslast hela året.

Hur mycket ledig kapacitet som finns i praktiken behöver utredas innan något definitivt kan sägas om saken. Pannorna behöver exempelvis ställas av för revision. I dagsläget så står de still halva maj till slutet av september. Med nya rutiner för revision kan tiden minskas till kanske två månader (Lidell, KVV). Rent principiellt går det att öka produktionen i CFB-pannorna från dagens 290 GWh till ~ 600 GWh med två månaders avställning per år. Faktorer som beläggningar i pannan osv. kommer att reducera teoretiskt möjlig energiproduktion.

På ett diskussionsmässigt plan kan det vara intressant att ersätta torv med rötrest eftersom torv är fossilklassad. Fossilklassningen innebär krav på utsläppsrätter till en kostnad av ca 20 euro/ton CO₂. Skulle situationen ändras så att torv inte är fossilklassad så är det tveksamt om det är intressant att ersätta torv med rötrest eftersom torven är ett bra bränsle som ger litet slitage på anläggningen.

5.2.3 Rötrestens egenskaper och flöden - bränslealternativet

Tabell 28 Rötrestens värmevärde vid olika TS-halter.

TS %	MJ/kg rötrest	MWh/ton	Kommentarer
7,3	-1	-0,3	Rötresten i röt-kammaren
24,2	2,4	0,7	Analyserad rötrest
30	3,6	0,9	Planerad TS-halt efter avvattning i Karlskoga
61	9,8	2,7	Rötrest med ungefär samma värmevärde som torv
97	17	4,75	Pelleterad rötrest
100	17,6	4,9	Torrsubstansens effektiva värmevärde för torrt prov, konstant tryck, enligt analysdata

Tabell 29 Mängder i ton för olika TS-halt

TS %	97	60	30	25
ton/år	34 100	55 100	110 200	132 200

Den brännbara andelen av rötresten utgör enligt analysdata ~85 % av torrsubstansen, vilket innebär att det blir relativt stora askflöden vid förbränning. Tidigare har förbränning av bränslekross bestående av papper, plast och träavfall skapat problematisk aska och dyr deponering. Det avfallsbränslet är inte aktuellt i dagsläget eftersom de medförde dioxinproblem vid förbränning. Avfallsbränslet har ersatts av mer väldefinierat RT-flis som är mindre problematiskt när det gäller askhanteringen. Detta och att askan i dagsläget behövs för att täcka deponier i området gör att hanteringen av aska inte är ett stort problem (Thalback, Karlskoga Energi).

5.2.4 Möjligheten att täcka energibehovet för ångproduktion med rötrest

De 190 GWh biogas som ska förbrännas i B-blocket ger 160 GWh ånga och 12 GWh el, verkningsgraden är ~ 90 %. Samma verkningsgrad kan antas för förbränningen i C-blocket (Lidell, KVV). Det totala energiinnehållet i rötrestens torrsbstans är ~ 161 GWh beräknat utifrån det effektiva värmevärdet. I praktiken beror tillgänglig energimängd på hur mycket rötresten torkas (se figur 17 & 18). Torkningen måste anpassas så att bränslemixen i pannorna får önskvärda parametervärden, nuvarande bränslemix har exempelvis en fukthalt på 45 % (55 % TS). Under antagandet att rötresten torkas till 60 % TS är den tillgängliga energin för ångproduktion ~132 GWh efter förluster (torkenergin är inte inräknad i detta).

Tabell 30 Energimängder i årsproduktion rötrest

Rötrestens energiinnehåll jämfört med energiinnehållet i uppgraderad biogas. (97 % CH ₄ , 9,67 kWh/Nm ³)				
	TS %	Energimängd GWh/år	Efter förluster	Ersatt biometan milj. Nm ³
Torkad rötrest	60	147	133	15,2
Pellets	97	161,1	145	16,7
Biogas		190		19,7

Om all rötrest kan torkas och användas till ångproduktion kan i storleksordningen 75-85 % av energibehovet täckas. Att rötresten inte kan täcka hela energibehovet och osäkerheten i hur stor ledig kapacitet det finns innebär att det kommer att behövas parallella system där både gas och rötrest används.

5.2.5 Torkningen av rötresten

I kapitel 3 görs ett försök att reda ut förutsättningarna för torkning av rötrest. Av speciellt intresse var möjligheten att torka med hjälp av spillvärme från biogasanläggningen. I nuläget finns inga konkreta planer på en torkanläggning i bioenergikombinatet. Litteratursökning och kontakt med olika leverantörer har inte heller gett något konkret exempel där alla data är kända. Ett skissartat resultat redovisas nedan.

Tillgången på spillvärmeenergi vid en för torkning rimlig temperaturnivå är inte så stor på biogasanläggningen. Det flödet som kan ge den högsta ingående temperaturnivån ligger på 66,5°C, men flödet är bara 16,7 m³/h. Värmeöverskottet som kan utvinnas via värmeväxlare är i storleksordningen 14 MWh/dygn (Moberg, SB 2008). De mängder vatten som behöver avdunsta (tabell 31) för att torka rötresten till lämpliga TS-halter visar att biogasanläggningens egen spillvärme förmodligen inte räcker till. En möjlighet är kanske att se på flöden i de andra enheterna i kombinatet.

Tabell 31 Mängden vatten som behöver avskiljas för olika TS på acceptet.

TS-halt från början:	60 % TS ton/år	97 % TS Ton/år	60 % ton/h	97 % ton/h
25%	77 140	98 160	~9,6	~12,3
30%	55 100	76 120	~6,9	~9,5

Till vilken TS-halt rötresten måste torkas beror på önskade egenskaper för bränslemixen i pannorna, men även lagringsegenskaper kan spela in (se 2.3). Förmodligen kommer rötresten att behöva torkas till 50-60 % TS (Lidell pers. med). Ökningen av värmevärdet på grund av torkningen och därmed nyttan av ytterligare torkning minskar med ökande TS-halt (figur 17 & 18) så rötresten bör inte torkas mer än absolut nödvändigt.

Torkning förutsätter antingen ett högt värde på det producerade bränslet eller en billig torkenergikälla eftersom energiförbrukningen är så hög. För att torka all rötrest från 30 % TS till 50-60 % TS krävs i storleksordningen 45-50 GWh värmeenergi. Det motsvarar ungefär 16-18 % av energiinnehållet i den producerade gasen (270 GWh).

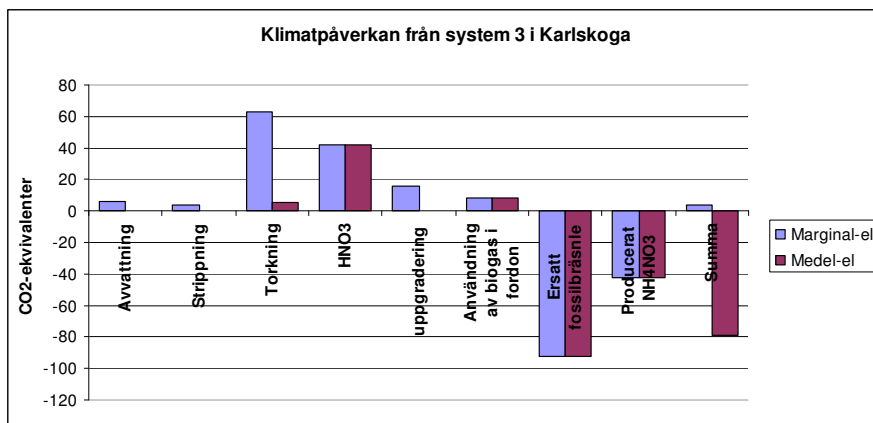
5.3 Miljö & energi

I kapitel 4 analyseras miljöpåverkan och energiförbrukning för de tre hanteringssystemen. I kapitel 4 antas rötrestbränslet ersätta torv i ett generellt fall (system 3). I Karlskoga ska biogas förbrännas för ångproduktion till etanolanläggningen, här antas rötresten ersätta biogas som kan uppgraderas och säljas som fordonsbränsle. Uppgraderingen antas ha en energiförbrukning på 0,4 kWh el/Nm³ (Kättström pers. med). Användning av biogas i fordon medför en viss miljöpåverkan, främst i form av utsläpp av oförbränd metangas. Den miljöpåverkan bör uppskattas för att göra analysen så fullständig som möjligt (figur 36). Tillgången på nyare data för livscykelanalyser är dock begränsat när det gäller biogassystem (Linné 2007). Därför används här IVL:s data för biogasfordon som baserar sig på studier gjorda på 90-talet. En nyare sammanställning av utsläpp från lätta fordon visar på att utsläpp av metan från fordon i miljöklass 2005 är cirka hälften av utsläppen från bilar före miljöklass 2000 (Larsson 2006). Data i tabell 32 kan därför vara en överskattning av miljöpåverkan från biogasfordon.

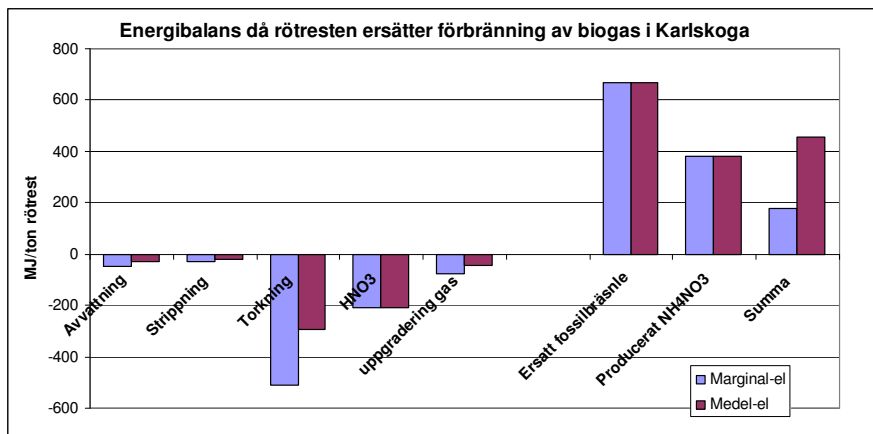
Resultaterande miljöpåverkan från rötresthanteringen kan utläsas i resultatdelen i kapitel 4 för system 1 & 2. När system 3 appliceras på Karlskogafallet så tillkommer uppgraderingen (el) och de utsläpp av metan som sker vid användning av biogas i fordon (tabell 32). Antaganden om marginal- eller medel spelar stor roll för resultatet precis som i kapitel 4.

Tabell 32 Miljöpåverkan från biogas användning i fordon. Mängden gas motsvarar energinnehållet i rötresten vid 60 % TS-halt.

TS	97 % CH ₄ Nm3	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	Försurning [g SO ₂]	Övergödning [g PO ₄ ⁻³]
60%	33,7	8,4	22,8	21	3,9

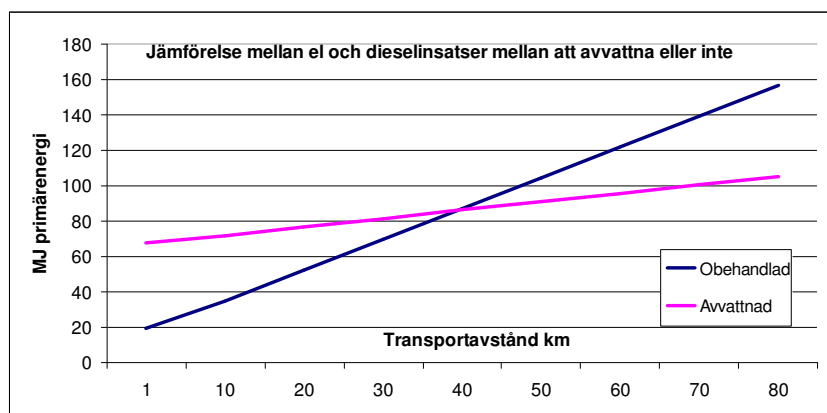


Figur 35. GWP 100 per ton rötrest då rötresten antas ersätta biogas i Karlskoga KVV. Skillnaden mellan medel- och marginalet beror på att torkningen antas ske med eldriven torkteknik.



Figur 36. Primärenergiinsatser i system 3 applicerat på Karlskoga. Se figur 23 för jämförelse med det generella fallet.

När det gäller spridning på åkermark så är huvudargumentet för avvattning att minska transportarbetet. Antalet tunga lastbilar i system 1 är nästan 40 per dygn jämfört med ca 11 i system 2. Energiinsatser i form av el och diesel till avvattning, strippning, transport och spridning visar dock att system 1 kan vara energimässigt sätt bättre om transportavstånden är kortare än ca 35 km (se figur 36).



Figur 37. Primärenergiinsatser i form av el och diesel per ton rötrest som funktion av transportavstånd

5.4 Ekonomi

Det här avsnittet är menat som en enkel uppskattning av storleksrelationerna mellan driftkostnader och inkomster för de olika systemen baserat på gjorda antaganden och tillgängliga uppgifter från Scandinavian Biogas. Kostnader anges per ton obehandlad rötrest om inget annat anges. Investeringskostnader har inte kunnat uppskattas inom ramen för detta arbete.

5.4.1 Värderingen av växtnäringen från Karlskogaanläggningen

Värderingen baserar sig på analysdata från pilotanläggningen, uppgifter om handelsgodselpriser från YARA: s marknadsavdelning samt Lantmännen lantbruk. Beräkningar är gjorda i stallgödselkalkylprogram hämtat på www.greppa.nu. Spridningskostnader har inhämtats via telefon hos Maskinringar runt om i Mellansverige (www.maskinring.se).

Priset för de i Sverige vanligaste mineralgödselmedlen avsedda för spannmål N27 (27 % ammoniumnitrat) och NPK 24-4-5 är för säsongen 2008 ca 3 300 kr/ton för N27 och 4 500 kr/ton för NPK (Marknadsavdelningen YARA, februari 2008).

Tabell 33 Priser per kg växttillgängligt makronäringsämne i mineralgödsel.

Kronor per kg växttillgängligt N	Per kg P	Per kg K
12,2	24-28	6,78

En uppskattning på värdet av växtnäringen i ett ton obehandlad rötrest är ca 125 kr med de aktuella priserna under förutsättningen att allt P och K kan betraktas som växttillgängligt. Kväveförluster är oundvikliga, om rötresten sprids under bra förhållanden så är 15 % ett rimligt antagande.

I rötrestsammanhang brukar kostnaden för markpackning och spridningskostnader dras av från värdet på växtnäringen (se exempelvis), något som även görs i kalkylprogrammet från Greppa näringen (www.greppa.nu). För att kunna kontrollera de resultat som presenteras här så finns en tabell över parametervärden (se bilaga 1).

Ekonomi i systemen där rötresten ska spridas i jordbruket baseras på värdet av växtnäringen. Enligt kalkylprogrammet så är värdet på rötresten så högt som 70-90 kr/ton om den sprids under optimala förutsättningar. Om den sprids under sämre tidpunkter med avseende på markpackning eller utnyttjandegraden av kvävet så är värdet ca 50 kr/ton enligt Greppakalkylen. Här används ett medelvärde av de värden som kalkylprogrammet gav för givna parametervärden på 62 kr/ton eftersom inte all rötrest kan förväntas spridas under optimala förhållanden. För avvattad rötrest är värdet 130-150 kr/ton vid optimala förhållanden och ner mot 90 kr/ton som sämst. Medelvärdet är 124 kr/ton. Värdet på en avvattad rötrest blir högt framför allt på grund av det höga fosforpriset. Fosfor står för ca 60 % av värdet innan kostnader för markpackning m.m. räknas bort (26 kr/kg P har använts i kalkylen).

Dessa värden är baserade på näringsinnehållet enligt analysdata, för en högre TS-halt kan resultatet se annorlunda ut. Se bilagor för detaljer.

Tabell 34 Några exempel från stallgödselkalkylen

Obehandlad rötrest:			
Gröda	spridningstidpunkt	Nedbrukning (timmar)	Värde (kr)
vårsådd	vårbruk, plöjning	1	91
-	-	4	90
-	-	12	87
höstsäd	försommar		71
vårsådd	december	4	60
höstsäd	tidig höst	1	53
Höstraps	tidig höst	4	98

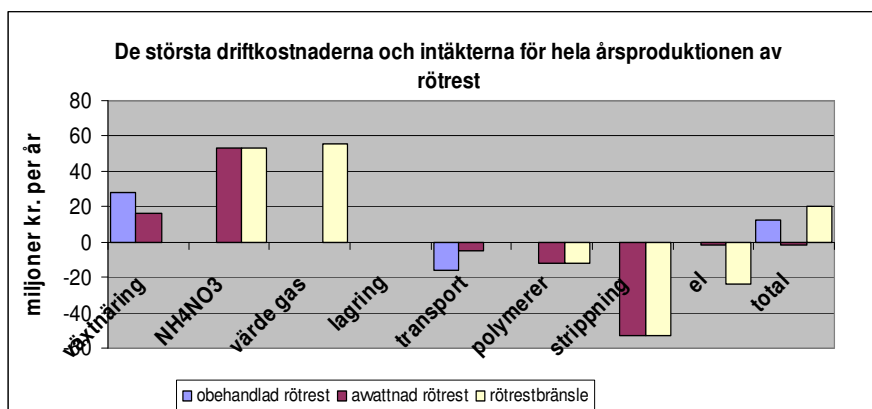
5.4.2 Transportkostnader

Transportkostnaderna är svåra att beräkna då inga planerade lager eller mottagare finns. För att åskådliggöra storleken på kostnaden antas här att rötresten lastbilen kör 85 km tur retur anläggningen. Medelhastigheten antas vara 60 km/h. För lastning och lossning av 34 m³ flytande rötrest åtgår sammanlagt 30 minuter (Berg, 2000). En kostnad för lastbil på ca 750-800 kr/h är ett rimligt antagande (se exempelvis Benjaminsson & Linné, 2007). Kostnaden blir då ca 42 kr/ton. Transportkostnaden per ton för fast avvattad rötrest antas vara i samma storleksordning. Eftersom ett ton av den avvattade fraktionen motsvarar ca 3,4 ton obehandlad rötrest så blir transportkostnaden väsentligt lägre för hela årsproduktionen.

5.4.3 Avvattning och strippning

Driftkostnaden för avvattningen består huvudsakligen av elenergi och polymerer. Polymerer till avvattningen kostar enligt uppgift från Scandinavian Biogas ca 26 kr/ton rötrest. Elförbrukningen har antagits vara 5,1 kWh/ton rötrest som avvattnas.

Kostnaden per m³ rejektvatten i en strippningsanläggning från Watergroup A/S har av Scandinavian Biogas uppskattats till 64 kr/ m³ rejekt för polska prisförhållanden. För svenska förhållanden uppges salpetersyra till strippningen kosta 2000 kr/m³ levererad. Elpriset antas till 0,75 kr/kWh och värmebehovet antas kunna täckas med hjälp av spillvärmen från biogasanläggningen. Med samma beräkningar fås då en kostnad på 74 kr/m³ rejekt i Karlskoga. En stor osäkerhetskälla här är hur mycket ammoniumnitratlösningen är värd. Ammoniumnitrat är ju ett vanligt gödselmedel (N27), men det brukar levereras i pelleterad form. En lösning med 52 % NH₄NO₃ kan vara svårare att sprida. Om anläggningen kan få ca 2400 kr/ton NH₄NO₃-lösning så går driftkostnaderna i princip på noll. Det priset motsvarar 4,6 kr/kg NH₄NO₃, i form av mineralgödsel kostar NH₄NO₃ 12,2 kr/kg. I uppskattningen av relationerna mellan intäkter och utgifter antas att anläggningen kan täcka driftkostnaderna för strippningen med försäljning av NH₄NO₃ (figur 37).



Figur 37. Jämförelse mellan systemens intäkter och kostnader. Transporterna baserat på medeltransportavstånd t.o.r. Lagringskostnader okända. Där det finns ett kostnadsspann baseras värdet/kostnad på medelvärdet.

5.4.4 Värdet av rötresten som bränsle

Som planerna ser ut nu byter etanol och biogasanläggningen i princip rågas mot ånga med Karlskoga KVV. Ekonomin i att göra ett bränsle av rötresten ligger i att gas kan frigöras och säljas som fordonsbränsle. Värdet av en Nm³ uppgraderad biogas (~97 % CH₄) är 4-6 kr minus uppgraderingskostnaden på 1-1,5 kr/m³ (Brolin, pers. med). Ett ton obehandlad rötrest som avvattnats och torkats till ca 60 % TS har ett energiinnehåll på ~0,33 MWh och frigör biogas motsvarande 33,6 Nm³ uppgraderad biogas. Värdet av gasen och därmed rötrestbränslet blir

någonstans i spannet 85-170 kr per ton rötrest som torkas till ett bränsle med ~60 % TS.

Förutom kostnader för avvattning och strippning så tillkommer torkningen. Energi- och driftkostnader för torkning är en stor osäkerhet i systemet. Tyvärr har inte förfrågningar hos företag i torkteknikbranschen resulterat i några konkreta uppgifter på driftkostnader. För den teknik som baseras på torkning av luft med hjälp av värmepump uppges energiförbrukningen till 0,3 MWh el/ton avdunstat (se 2.3.2) För att torka den avvattnade fraktionen (25 % TS) från ett ton rötrest till ca 60 % TS krävs att 170 kg vatten avdunstas. Elförbrukningen blir under dessa förutsättningar ~ 52 kWh per ton obehandlad rötrest.

5.5 Resultat Karlskoga

System 1 – rötresten går obehandlad ut på fält.

Till de positiva aspekterna av system 1 hör att värdet på växtnäringen är relativt högt. Även efter att spridningskostnad m.m. är frånräknat finns en marginal för att täcka transport, lagring och administration. Rötresthantering verkar dock vara en minuspost i ekonomin för de flesta svenska biogasanläggningarna och det mesta av rötresten sprids obehandlad. Så frågan är varför det ser ut att bli positiva siffror här? En förklaring som påpekas i en rapport av Avfall Sverige (RVF 2005) är att viljan att betala för rötresten överlag är låg, när det enda alternativet är att sprida rötresten på åker så blir kanske anläggningarnas förhandlingsposition dålig? Klart är i alla fall att systemets ekonomi är känslig för större förändringar i värdet på rötresten. En annan trolig förklaring är att alla kostnader inte är med här, en uppenbar kostnad som inte har kunnat utredas från tillgängliga källor är lagringen. Lagringskapaciteten ska enligt reglerna täcka tio månaders produktion, så lagren kan bli stora. Några bra uppgifter på kostnaden för lagring har inte hittats. Men även om lagringskostnaden antas till 10 % av växtnäringensvärde och transportkostnaden höjs 10 % så är nettot per ton positivt om rötresten antas vara värd ~60 kr.

System 2 – Avvattning innan rötresten sprids.

En högre TS-halt medför att mindre transporter och lagringsutrymme behövs. Även behovet av spridningsareal minskar något jämfört med system 1, hur mycket beror på hur fosfor fördelar sig mellan den fasta och den flytande delen efter avvattning. Ekonomin i systemet är känsligare än system 1 (se tabell 36), värdet av växtnäringen är inte så stor i förhållande till kostnaderna för behandlingen. Förändringar i det pris som kan tas ut för ammoniumnitrat från strippningen får stora effekter på totalekonomin i system 2. I arbetet har det antagits att det är rimligt att få ut 4,6 kr/kg kväve från strippningen, det skulle enligt beräkningarna räcka med att få ut ca 5 kr/kg kväve för system 2 ska gå utan förlust. Polymerkostnaden är också en känslig punkt.

Kostnader för processkemikalier och energi till avvattning och strippning gör att system 2 förmodligen medför en netto kostnad. Polymererna som används i avvattningen gör också att rötresten troligtvis inte kan bli certifierad för ekologisk

odling eller enligt SPCR 120. Det kan göra den avvattnade rötresten mindre attraktiv som gödselmedel.

System 3 – bränsleproduktion

Varje ton rötrest som avvattnas och torkas till 60 % TS motsvarar ungefär 325 kWh, eller 33 Nm³ uppgraderad biogas. Rötresten från Karlskogaanläggningen kan ersätta en stor del av biogasen till ångproduktionen. Om kapaciteten i C-blocket räcker och att det tillståndsmässigt och praktiskt går att förbränna rötresten så skulle en stor del av etanolfabriken energibehov kunna täckas med rötrestbränslet och biogas skulle kunna uppgraderas istället.

Ekonomi i att ersätta biogas med rötrestbränsle är naturligtvis beroende av värdet på den frigjorda biogasen. Om anläggningen bara får runt 4 kr/Nm³ och uppgradering samtidigt kostar i storleksordningen 1,5 kr/Nm³ så närmar sig bränsleproduktion röda siffror utifrån de antaganden som gjorts här. Den springande punkten är torkningen. Ekonomi, miljö och praktisk genomförbarhet beror på hur den löses. Eldriven torkutrustning har använts i analyserna, men elförbrukningen ger ur ett marginalperspektiv så stor klimatpåverkan att fossil CO₂ ersatt fordonsbränsle uppvägs. Dessutom blir totalekonomin känslig för förändringar i elpriset (tabell 36). Bortser man från marginaletens miljöpåverkan eller tänker sig att biobränsle eller spillvärme används till att driva torkningen så ser bränslealternativet bra ut klimatmässigt eftersom den frigjorda biogasen kan spara in i storleksordningen 90 kg fossil CO₂ per ton rötrest som förvandlas till bränsle..

Tabell 35 Sammanställning av Karlskogafallet sammanställt som nyckeltal för de tre systemen

	Antagande	System 1	System 2	System 3
Mängd [ton/år]	7,3; 25; 60 % TS	452 880	132 241	55 100
Nödvändig spridningsareal [ha]	22 kg P/ha, år	31 662	24 696	-
Andel av total jordbruksareal [%]	inom 30 km	112,4	87,7	-
Andel av total jordbruksareal [%]	inom 60 km	34,0	27,0	-
Transport miljoner tonkm/år	(85 km t.o.r)	38,5	11,2	-
Energi				
Energiinnehåll i rötrest [GWh/år]	(60 % TS)	-	-	147 ¹
Transport + spridning (diesel) [GWh/år]		10,3	4,7	-
Avvattnings + strippning (el) [GWh/år]		-	3,7	3,7
Torkning (värmeenergi) [GWh/år]	0,9 MWh/ton H ₂ O			40-50 ²
Energiförbrukningens andel av producerad biogas (270 GWh/år) [%] ³		3,8	3,1	18-21
Ekonomi				
Värde kr/ton		62	524 ⁴	~2000 ⁴
Behandlingskostnad kr/ton		42 + lagring	550 + lagring	1300 + torkning
Summa per årsproduktion rötrest Mkr/år		~ 9	~ -2,8	~20 ⁵
Miljö				
Klimat GWP 100 medel/marginal	[tusen ton CO ₂ -ekv./år]	- 3,3	2,6/8,2	-38/-23 ⁶
Övergödning	[ton PO ₄ ⁻³]	47,22	15,7	?
Försurning	[ton SO ₂]	282,59	66,5	?
Övrigt				
Ekologiskt gödsel		Ja	nej	-
Recirkulering av mineraler		ja	ja	?

¹ motsvarar cirka 15 miljoner Nm³ uppgraderad biogas
² torkning från 30 % TS till 50-60 % TS
³ el är inräknat utan att kompensera för verkningsgrad och förluster.
⁴ Värdet av NH₄NO₃ är inkluderat, bränslevärdet är räknat som uppgraderad gas.
⁵ Här antas värmepumpsbaserad torkteknik. Torkningens elförbrukning är ~ 24 GWh (0,75kr kWh).
⁶ klimatpåverkan beror mycket på från vilken energikälla energin till torkningen tas. Här är bidraget från torkningen inte med, klimatpåverkan speglar reducerade utsläpp från fossila fordonsbränslen minus utsläpp för övrig förbehandling m.m.

I tabell 36 redovisas en enkel ekonomisk känslighetsanalys. Utgångspunkten är de antaganden som redovisas i avsnitt 5.4, Antagandena resulterar i en totalsumma för varje system (se tabell 35). Några parametrar har varierats för att se vilket utslag det får på totalsumman, ur tabellen kan det exempelvis läsas att system 2 är väldigt känsligt för det pris anläggningen kan få för $\text{NH}_4\text{-N}$ -produkten.

Tabell 36. Förändring av totalsumman/år då olika parametrar ändras.

Parameter	Förändring	obehandlad	avvattnad	bränsle
Elpris	+(-) 25 öre		-(+)20 %	-(+)40 %*
Gaspris	+(-)25 %			+(-) ~70 %
Gaspris	+(-)10 %			+(-)~30 %
NH_4NO_3	+(-)25 %		+(-)500 %	+(-)60 %
	+(-)10 %		+(-)200 %	+(-)25 %
Transport	+(-)20 %	-(+)40 %	-(+)40 %	
	+(-)10 %	-(+)20 %	-(+)20 %	
Polymerer	+(-)20 %		-(+)85 %	-(+)10 %
Värdet av rötresten	+(-)10 %	+(-)30%	+(-)60 %	

*Här antas torkning ske med tidigare nämnda eldrivna torkteknik, därav känsligheten för förändring i elpris.

6 Sammanfattande diskussion

Syftet med det här examensarbetet är att utreda storskalig hantering av rötrest från rötning av etanol-drunk och ta fram en metod att bedöma vilka lösningar som är bäst ur olika synpunkter från fall till fall. Anläggningen Karlskoga bioenergikombinat tjänar som exempel. I detta arbete har tre perspektiv varit viktiga, dels det praktiskt – tekniska, dels det miljö och energimässiga och dels det ekonomiska. En bra lösning på rötresthantering bör vara fördelaktig ur alla tre perspektiven.

Rötresthantering visade sig vara ett komplext område, det är många delmoment och faktorer som spelar in på helheten vilket gör det svårt att få fram helt entydiga resultat. Därför är det också svårt att formulera en enkel metod för att bedöma vilket, eller eventuellt vilken kombination av hanteringssystem som är bäst. Erfarenheten från det här arbetet är att utredningen blir omfattande om varje alternativ ska bedömas ur alla aspekter, vilket är tidskrävande (och dyrt). Det är därför bra om realistiska alternativ kan gallras ut så tidigt som möjligt.

Det är naturligt att börja med att utreda alternativen ur teknisk- praktisk synvinkel eftersom det ger en översikt över vilka delar som ingår i de olika alternativen och vilka för och nackdelar som finns. Exempel på parametrar är lokala fysiska förutsättningar, tekniska lösningar, massflöden m.m. Utifrån den översikten kan de alternativ som verkar mest realistiska väljas ut för en fördjupad utredning om miljöpåverkan, energiförbrukning och ekonomi.

Metoden att bedöma miljö- och energiaspekter som använts i detta arbete bygger på livscykelanalysteori. Fördelen är att miljöpåverkan och energiförbrukning från de enskilda systemkomponenterna görs synliga. Det gör det möjligt att identifiera vilka tekniska val som ger minst miljöpåverkan eller energiförbrukning. Nackdelen är att det kan vara svårt och tidskrävande att få tag i relevanta och jämförbara data på produkter och processer. Därför är det viktigt att göra en avvägning av den detaljnivå och omfattning analysen måste ha för att fylla sitt syfte. En ganska grov och snabb skiss kan vara användbar på ett tidigt stadium för att gallra mellan alternativen. En mer fördjupad analys kan vara viktig för att få kunskap om de slutliga huvudalternativen för såväl internt bruk som utomstående aktörer.

En erfarenhet som gjorts under detta arbete är att de ekonomiska frågorna är svåra att utreda, samtidigt har de stor tyngd i beslutsprocessen. För att få fram en ekonomisk bedömning med rimlig nivå på osäkerheterna krävs detaljerad kunskap om tekniska lösningar och andra förutsättningar för det undersökta hanteringssystemet och för anläggningen i sin helhet. De ekonomiska aspekterna är kanske därför endast möjliga/meningsfulla att utreda för de hanteringssystem som valts ut som mest lovande.

Examensarbetet har i princip följt ovanstående modell, men arbetet har för tydlighetens skull delats upp i en generell del och en del inriktad på exemplet Karlskoga.

Det vanligaste sättet att hantera rötresten är som nämnt i arbetets inledning att sprida den på åkermark. Den generella slutsatsen som kan dras är att rötad etanoldrank har goda förutsättningar att användas som gödsel. Med den obehandlade rötresten kan en stor del av en normal kvävetillförsel täckas tillsammans med fosforbehovet. En avvattnad rötrest är kanske snarare ett fosforgödselmedel eftersom en stor andel av kvävet hamnar i den flytande fasen vid avvattningsprocessen. Den obehandlade rötresten kan med stor sannolikhet certifieras enligt certifieringsreglerna för ekologisk odling och enligt SPCR 120, något som bör innebära ett mervärde. Detta gäller dock inte en med polymerer avvattnad fast fraktion.

I kapitel 5 tas den nödvändiga spridningsarealen för Karlskogaanläggningen fram, det visar sig att arealbehovet utgör runt en tredjedel av den totala jordbruksarealen inom ~60 km. Anläggningens lokalisering och de stora arealbehoven medför ett stort transportarbete. Förutom transportarbetet är det tänkbart att tiden det tar att bygga upp en marknad kan begränsa avsättningsmöjligheterna i början. Det är inte helt orimligt att tänka sig att anläggningen skulle hamna i en ganska dålig förhandlingsposition när det gäller att få betalt för växtnäringens värde i en sådan situation. En fråga som inte har behandlats i arbetet i någon större utsträckning är den infrastruktur med lager och spridningsutrustning som behövs för att få ut rötresten på åkrarna vid rätt tidpunkter. Om inte spridningen ska bli en flaskhals så bör tillgången till spridningsutrustning ingå i planeringen.

När det gäller förbränning är slutsatsen att det går att tillverka ett bränsle av rötrestens torrs substans med en energivinst. Skillnaden mellan utvunnet värmevärde

och insatt torkningsenergi är dock ganska liten, det bör innebära att torkningsenergin måste vara billig.

En annan viktig fråga som behandlas i kapitel 3 är frågan om ett rötrestbränsle ska klassas som ett avfallsbränsle eller inte. Frågan får betydelse för var rötresten kan användas. Idag är frågan snårig och måste utredas från fall till fall. Enligt naturvårdsverket så kommer harmlösa avfall från jord och skogsbruk att undantas från avfallsreglerna inom de närmsta tre åren, något som kan förbättra villkoren för att producera ett bränsle av den rötade dranken.

Förutsatt att rötresten ryms inom Karlskoga KVV:s tillstånd och att det kapacitetsmässigt går att förbränna all rötrest, så är bränsleproduktion ett hanteringssystem som går att förbereda och starta upp storskaligt på ett annat sätt än jordbruksalternativet. Kapacitetsmässigt så utnyttjas fluidbäddspannorna i C-blocket bara till hälften idag, teoretiskt borde det finnas utrymme för att förbränna årsproduktionen av rötrest där. Det kan dock komma att behövas ett parallellt system där biogas kan förbrännas i A-blocket, dels för att C-blockets kapacitet behövs i fjärrvärmenätet vid köldknäppar och dels för att rötresten inte kan täcka hela etanolfabrikens energibehov. Det bör understrykas att förbränningsalternativet bara utretts utifrån analysdata på värmevärde och samtal med Karlskoga KVV. Det behövs förmodligen förbränningsförsök för att se om det verkligen är möjligt att förbränna rötresten i de befintliga pannorna. Frågan om hur rötresten ska torkas har inte varit möjlig att utreda fullständigt i det här arbetet. I Karlskoga ser inte spillvärmealternativet ut att vara möjligt, i alla fall inte om det bara baseras på spillvärme från biogasanläggningen.

En enkel livscykelanalys har gjorts för att åskådliggöra hanteringsalternativens miljöpåverkan och energiförbrukning. När det gäller gödselalternativen bidrar kväveförluster i samband med spridning till försurning och övergödning. Det går dock att minska ammoniakförluster en hel del med täckta lager och rätt spridningsteknik vid rätt tidpunkt. N_2O utsläpp från fälten ser under de antaganden som gjorts ut att bidra mest till gödselalternativens klimatpåverkan, och det är det svårt att göra något åt. Det som dock kan reducera klimatpåverkan för spridningen av rötrest i jordbruket är att ersätta diesel med alternativa fordonsbränslen.

Produktion av rötrestbränsle ser ut att kunna reducera klimatpåverkande utsläpp i och med att fossila bränslen antas kunna ersättas. Förmodligen så är det valet av energikälla till torkningen som kommer få störst effekt på alternativets miljöprestanda. Torkning med hjälp av el ser inte ut att vara idealiskt, i alla fall inte om den bedöms ur ett marginaelperspektiv. Bäst vore om spillvärme kan täcka energibehovet i så stor utsträckning som möjligt eftersom det skulle innebära en exergivinst, lågvärdig värme används till att framställa ett bränsle.

Ur ett resursperspektiv är styrkan i gödselalternativet att växtnäring återcirkuleras till jordbruket. Frågan är om mineraler som fosfor kan återcirkuleras i en förbränningslösning som den som diskuterats här, idag används askan från Karlskoga KVV till täckning av deponi. Kvävet i mineralgödsel motsvarar stora insatser av fossil energi, ett kg ammoniumkväve från en modern gödselabrik

motsvarar ~0,6 kg naturgas (YARA c). Total mängd $\text{NH}_4\text{-N}$ i Karlskogas årsproduktion av rötrest innan förluster är omkring 2 700 ton vilket motsvarar 1 600 ton naturgas (~23 GWh). I ett förbränningsalternativ går visserligen cirka en tredjedel av rötrestens ammoniumkväveinnehåll, samt större delen av det organiskt bundna kvävet upp i rök. Å andra sidan så kan uppemot 15 miljoner Nm^3 uppgraderad biogas användas i fordon istället för ca 16 miljoner liter bensin (~ 145 GWh).

Direkta och indirekta energiinsatser har räknats om till primärenergi för att göra olika energislag jämförbara. Alla tre systemen sparar eller levererar mer primärenergi någonstans i energisystemet än de konsumerar, men system 2 sparar markant mindre energi än de andra två.

Det måste också nämnas att svårigheten med den här typen av analys är att hitta relevanta och jämförbara data. De antaganden som har gjorts redovisas i kapitel 4, men två saker som förmodligen har inverkan på resultatet har behövt utelämnas ur analysen. Polymerförbrukningen (polyakrylamid) är ~0,9 kg per ton rötrest som avvattnas, eller ~390 ton per år. Några uppgifter på energiåtgång under tillverkning eller dylikt har inte kunnat hittas, därför har det utelämnats. Reningen av vattnet från kvävestrippningen har inte heller inkluderats. Skälet är att frågan inte är färdigutredd på Scandinavian Biogas och att förutsättningar mellan olika reningsverk varierar så mycket att det är svårt att hitta några generella data att basera en uppskattning på. Tillsammans bidrar detta till att energiåtgång och miljöpåverkan underskattas något för alternativet där rötresten avvattnas.

Den ekonomiska bedömning som görs i uppsatsens är förenklad, den syftar mest till att ge en uppfattning om vad som påverkar driftkostnaderna. I det här skedet är det svårt att dra några rimliga ekonomiska slutsatser eftersom så pass mycket är osäkert ännu, exempelvis torkteknik och rening av rejektvatten. Spridning av obehandlad rötrest ser ut att generera ett litet överskott, men det är inte otroligt att kostnader för investeringar, marknadsföring m.m. gör att systemet innebär en kostnad totalt sett så som det gör för de flesta andra biogasanläggningar. Alternativet att framställa ett bränsle ser ut att vara ekonomiskt intressant i Karlskoga eftersom värdefull biogas kan frigöras och säljas. Om man istället tänker att rötresten värderas mot något billigare bränsle så som föreslås i kapitel 3 så kan nog bränsleframställning bli en dyr lösning på grund av energiinsatserna som ska till för att skapa ett bränsle med tillräckligt högt värmevärde.

I tabell 37 görs en (subjektiv) sammanfattande bedömning av de tre systemens styrkor och svagheter relativt varandra baserat på ovanstående diskussion.

Tabell 37 Sammanfattning av diskussionen

	System 1	System 2	System 3
Avsättningsproblematik	-	-	+
Systemens komplexitet	++	+	-
Växtnäringsutnyttjande	++	++	+
Ekologiskt gödsel	+	-	-
Energieffektivitet	++	+	++
Klimatpåverkan	+	-	++
Övergödning	--	-	+
Försurning	--	-	+
Ekonomi	+	-	+

7 Slutsats Karlskoga

Vilka slutsatser kan då dras för Karlskoga? Det finns en hel del som tyder på att spridning av avvattnad rötrest inte är någon bra lösning ur miljömässig eller ekonomisk synvinkel trots det minskade transportbehovet. För att trygga avsättningen på kort sikt verkar förbränning vara den bästa lösningen i Karlskoga eftersom det löser problemet med storskaligheten i början. Det valet kan också mycket väl vara det miljömässigt bästa med tanke på de insparade transporterna och en ökad tillgång på alternativa fordonsbränslen. Förbränningssystemet utesluter inte heller gödselalternativet, vilket kan byggas upp efterhand som en marknad utvecklas, utan större investeringskostnader vid biogasanläggningen. En storskalig försäljning av växtnäring för ekologisk odling i regionen skulle vara möjlig och kanske önskvärd. En kombination skulle även ge flexibilitet om förutsättningarna förändras.

Det återstår naturligtvis en hel del frågor som bör undersökas vidare. En sak är logistik och lagring för effektiv distribution av rötresten. Frågan om hur systemen påverkas om ett rejektreningssteg inkluderas skulle vara önskvärd att utreda i miljö- och energianalysen. Förbränningsegenskaper för rötresten och tekniska lösningar för torkning behöver utredas djupare, sedan återstår nog också det mesta av den ekonomiska utvärderingen av systemen.

Referenser

Tryckta källor

Andersson G. Persson T. Sjödin J. 2006 *Miljövärdering av el – Marginaler och medel*, Underlagsrapport Statens Energimyndighet

Avfall Sverige 2007 *Utvärdering av certifieringssystemen för biogödsel och kompost* Rapport 2007: 13.

Baky et al. 2006 *Rötrest från biogasanläggningar - användning i Lantbruket*, JTI

Baumann H. & Tillman A. 2004 *The Hitchhikers Guide to LCA*. Studentlitteratur, Lund
(ISBN 91-44-02364-2)

Benajminsson J. & Linné M. 2007 *Biogasanläggningar med 300 GWh årsproduktion- system, teknik och ekonomi*. Svenskt Gastekniskt Center Rapport 178.

Berg Jessica, 2000: *Lagring och hantering av rötrest från storskaliga biogasanläggningar*, JTI Kretslopp & avfall rapport 22

Berglund M & Börjesson P, 2003. *Energianalys av biogassystem*, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för teknik och samhälle, Lund (ISSN 1102-3651)

Bernesson, S. 2004 *Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels*. SLU, Institutionen för biometri och teknik, Uppsala

Brentrup F. et al. 2000 *Methods to estimate On-Field Nitrogen Emissions from Crop Productions as an input to LCA Studies in the Agricultural Sector*. 2000. International Journal of LCA 5 (6) 349-357 (2000).

Börjesson Pål 2004: *Energianalys av drivmedel från spannmål och vall*. Lunds tekniska högskola, rapport nr 54. Lund.

Energimyndigheten 2008 *Produktion och användning av biogas 2006* ER 2008:5 ISSN 1403-1892

Energimyndigheten 2007a: *Energiläget 2007* ET 2007:49 ISSN 1403-1892

Energimyndigheten 2007b *Produktion och användning av biogas 2005* ER 2007:5 ISSN 1403-1892

Energimyndigheten 2003 *Energiforskning i verkligheten - Några fallstudier* ER 6:2003, ISSN 1403-1892

Hammarström U & Yahya M. 2000 *Uppskattning av representativa bränslefaktorer för tunga lastbilar*, VTI rapport 445, Linköping: Väg och transportforskningsinstitutet, (www.VTI.se)

Hashimoto A. *Ammonia Inhibition of Methanogenesis from Cattle Wastes*. Agricultural Wastes 17 (1986) 241-261. 1986

Johansson I. et al. 2004, *Torkning av biobränslen med spillvärme*. Värmeforsk Service AB rapport 881, (ISSN 0282-3772). Stockholm

Jordbruksverket 2007a *Jordbrukstatistisk årsbok 2006* Jordbruksverket

Jordbruksverket 2007b *Gödsel och miljö* Jordbruksverket

Lei X. et al 2007 *Pretreatment of anaerobic digestion effluent with ammonia stripping and biogas purification*. Journal of Hazardous Materials 145 (2007) 391-397

Linder K. 2001, *Sameldning av rötslam men energirika avfallsbränslen eller skogsbränslen*. Värmeforsk Service AB rapport 741 (ISSN 0282-3772) Stockholm

Lindgren M et al, *Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgasemissioner*, Uppsala: JTI – Institutet för jordbruk och miljöteknik, 2002 (ISSN 1401-4963)

Linné M. 2007: *Granskning av livscykelanalyser för biogas, etanol och RME – kartläggning av behovet av nytt dataunderlag* Svenskt Gastekniskt Center rapport 180 (1102-7371)

Moraes P. 2004 *Simulering av COD-reduktionen i en aktivslamanläggning vid en Sulfatmassafabrik* examensarbete Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper, Luft- och vattenlära. (ISSN 1401-5765)

Paulsson P. 2007 *Energianalys av etanolproduktion; En fallstudie av Lantmännen Agroetanols produktionssystem i Norrköping* examensarbete Institutionen för biometri och teknik, SLU, Uppsala

Rodhe et al. 2006 *Handling of digestate on farm level. Economic calculations* JTI

RVF 2005 (nuvarande Avfall Sverige) *Användning av biogödsel* rapport 2005:10

SLU 2001: *Fakta Jordbruk nr 7 2001*. SLU, Uppsala

Sköldberg H. et. al *Marginaler och miljövärdering av el*. Elforsk rapport 06:52, Elforsk AB 2006.

Strömberg B. 2005 *Bränslehandboken* Värmeforsk Service AB, Stockholm (ISSN 0282-3772)

Uppenberg, S. Almemark, M. Brandel, M., Lindfors, L-G., Marcus, H-O., Strippel, H., Wachtmeister, A. & Zetterberg, L. 2001 *Miljöfaktabok för bränslen*. IVL-rapport Nr B1334B-2, Stockholm

Volvo *Med klimatfrågan i fokus – förnyelsebara bränslen CO₂-fria transporter*
AB Volvo Göteborg 2007-08 (kan laddas ner på www.volvo.com)

Wahlberg C & Paxeus N. *Miljöpåverkan från nedbrytning av polyelektrolyter från användning i reningsverk. Svensk Vatten, 2003 (ISSN: 1102-5638)*

Wimmerstedt R & Linde B. 1998: *Analys av det tekniska och ekonomiska läget för torkning av biobränslen*. Värmeforsk Service AB Stockholm. (ISSN 0282-3772)

Wikberg A. *Ammonia Recovery from Liquid Manure by Desorption With Air*, JTI Uppsala 1996.

Östlund C. 2003 *Förbränning av kommunalt avloppsslam* Rapport 2003 102, VA-forsk, Stockholm

Personlig kommunikation

Breid, Roger Maskinring Öst

Björling, Rut Aranea Certifiering

Buczma, Jerzy SEPARATOR Sp. z o.o. ul. Polen

Elmqvist, Helena Svensk Sigill

Hansson, David Naturvårdsverket

Hansson, Katarina NSR Helsingborg

Hammarberg, Ulf VTI

Hedgren, Leif Watropur/Watrex AB

Hellström, Hanna Avfall Sverige

Kjellqvist, Tomas BioTotal AB

Ljunggren, Staffan Transportentreprenör, Kalmar

Linder, Jan Programansvarig för STANK in MIND, miljöinriktad rådgivning på jordbruksverket.

Lidell, Per Karlskoga Energi

Moberg Tony exjobb 2008 Scandinavian Biogas

Quintana, Paula Aranea Certifiering

Rönnqvist, Bengt Karlskoga energi och Miljö

Salomon, Eva JTI

Thalback, Tommy Karlskoga Energi

Von Bahr, Bo SP

Interna dokument

Rönnqvist B. Förbränningsförsök med DDGS (torkad pelleterad restprodukt från etanoltillverkningsprocess)

Herstad Sverd S. Försök med pelleterad etanolrest "Drank" vid panna C1 vid KVV
Karlskoga

Internet

Avfallsförordningen (2001:1063)

<http://www.notisum.se/rnp/SLS/lag/20011063.HTM> tillgänglig 08-03-03.

Bioenergiportalen.se: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=2856> tillgänglig 08-03-11

EG:s avfallsdirektiv (2006/12/EG).

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0012:SV:NOT>
tillgänglig 08-03-03

Förordningen (1998:915) om miljöhänsyn i jordbruket:
<http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19980915.HTM> (tillgänglig 2008-02-28)

IPCC: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/078.htm> (tillgänglig 08-03.12)

Jordbruksverket b: Jordbruksmarkens användning JO 10 SM 0701 (under statistik
på www.jordbruksverket.se)

Jordbruksverkets författningssamling: SJVFS 2004:62
<http://www.sjv.se/download/18.12022b71008e0e5daa800023999/2004-062.pdf>
(tillgänglig 2008-02-28)

KOM2007/59 (tolkningsmeddelande från EU kommissionen):

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0059:FIN:SV:PDF>
tillgängligt 08-03-03.

Lantmännen 2007, restproduktspolicy tillgänglig 2007/12/11
(<http://www.lantmannen.com/default.aspx?id=3>)

Larsson M. 2006: *Exhaust emissions from light vehicles run on alternative fuels - Basic data to NTM* . Miljöinfo januari 2006:

http://www.best-europe.org/upload/BEST_documents/environment/Exhaust%20emission061129.pdf
f tillgänglig 2008-03-10

Länsstyrelsen Örebro: http://www.t.lst.se/NR/rdonlyres/3A790F6A-7027-46C3-8725-5C768CF84E67/0/1_Inledning.pdf

Miljöbalk (1998:808) , särskilt kap. 2 allmänna hänsynsregler och kap.12
<http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19980808.HTM>

Naturvårdsverket A *Konsekvensanalys av förslag till nytt delmål för utsläpp av svavel och kväve från sjöfart*
http://www.naturvardsverket.se/upload/01_sveriges_miljomal/eet/bara_naturlig_for_surning_bilaga_6.pdf

Sagberg P. et. al : *10 years of Operation of an Integrated Nutrient Removal Treatment Plant: Ups and Downs. Part 2: Sludge and Sidestream Treatment.* Vestfjorden Avløpseskap, Slemmestad, Norge. (inget årtal, www.veas.no/Sidene_engelsk/English%20PDF/ tillgänglig 08-03-12 med MS explorer (!))

Statens jordbruksverks föreskrifter om miljöhänsyn i jordbruket vad avser växtnäring;
<http://www.sjv.se/download/18.12022b71008e0e5daa800023999/2004-062.pdf>

SCB a: http://www.scb.se/templates/Publikation_199096.asp
SCB b: (http://www.scb.se/templates/tableOrChart_21273.asp?urlFile)

SCB, LRF jordbruksverket 20007 *Hållbarhet i svenskt jordbruk 2007*
http://www.scb.se/statistik/_publikationer/MI9999_2007A01_BR_MI72OP0701.pdf

Ulén B. *Jordbruk fakta, nr2* 2002 SLU
<http://www2.slu.se/forskning/fakta/faktajordbruk/pdf02/Jo02-02.pdf>

YARA b: Food Quality, Environmental and Sustainability Aspects of Fertilizer Use in Agriculture 5,
http://www.yara.com/library/attachments/en/global_commitment/hydro_5part2002_e.pdf

YARAc:
http://www.yara.com/library/attachments/en/investor_relations/20070924_fih_web.pdf

Bilder från www.maskinring.se är återgivna med tillstånd av Peter de Beau (+46612771819).
Bild från www.sonny.se återgiven med tillstånd av företaget (tel 0510 410505)

Bilagor

Bilaga 1

Tabell 38. Parametervärden till stallgödselkalkylen

Djurslag	slaktsvin	
Obehandlad rötrest/avvattnat 25 %	flytgödsel	fastgödsel
Täckning	tak	
Istället för schablonvärden har analysdata på växtnäring använts.		
Kvantitet	1 ton	
De i arbetet angivna värden på växtnäring kr/kg		
Transport lastbil	0	km
Transport traktor	1	km
Kostnad traktor	3	kr
Jordart	Lätt lera	
Värdet av normal skörd; riksgenomsnitt spannmålsskörd ca 6,6 ton (SCB jordbruksstat årsbok 2006)		
multipliserat med ca 2 kr/kg som ett ungefärligt spannmålspris 2008.	12500	kr
Gödselgiva	15 ton(6 ton)	
Typ av spridare	Tankvagn/ fastgödsel spridare	
Spridarteknik	Band/valsar	
Kostnad	22 kr/ton (default)	
Annars har programmets default-värden använts		

Bilaga 2. Spridning av obehandlad rötrest på spannmål. Lätt lera har valts, markpackning +/- 10 kr om sandjord eller styv lera väljs i kalkylprogrammet.

Tabell 39. Greppa-kalkylen på obehandlad rötrest enligt förutsättningarna.

Gröda	Spridnings tidpunkt	Spridar- typ	Nedbrukning (timmar)	N-Effekt (%)	Markpac k (kr/ton)	Värde * (kr/ton)	Miljöindex
Vårsådd	Vårb, plöj	Tankvagn	1	90	-12,9	91,7	+
Vårsådd	Vårb, plöj	Tankvagn	4	88	-12,9	90,3	+
Vårsådd	Vårb, plöj	Tankvagn	12	85	-12,9	88	+
Höstsädd	Försommar	Tankvagn		70	-18,5	71,4	+
Vårsådd	Försommar	Tankvagn		70	-18,5	71,4	+
Vårsådd	Vårbruk	Tankvagn	1	90	-35,1	69,5	+
Vårsådd	Vårbruk	Tankvagn	4	88	-35,1	68,1	+
Vårsådd	Vårbruk	Tankvagn	12	85	-35,1	65,8	+
Vårsådd	December	Tankvagn	1	50	-13,4	61,7	0
Vårsådd	December	Tankvagn	4	49	-13,4	60,9	0
Vårsådd	December	Tankvagn	12	48	-13,4	60,2	0
Vårsådd	Vårvinter	Tankvagn	1	70	-35,1	54,8	+
Vårsådd	Sen höst	Tankvagn	1	40	-13,4	54,3	-
Höstsädd	Tidig höst	Tankvagn	1	30	-6,3	53,9	-
Vårsådd	Sen höst	Tankvagn	4	39	-13,4	53,5	-
Vårsådd	Vårvinter	Tankvagn	4	68	-35,1	53,3	+
Höstsädd	Tidig höst	Tankvagn	4	29	-6,3	53,2	-
Vårsådd	Sen höst	Tankvagn	12	38	-13,4	52,8	-
Höstsädd	Tidig höst	Tankvagn	12	27	-6,3	51,7	-
Höstsädd	Vårbruk	Tankvagn		65	-35,1	51,1	+
Vårsådd	Vårvinter	Tankvagn	12	65	-35,1	51,1	+
Höstsädd	Sen höst	Tankvagn		35	-13,4	50,6	
			medel	60	-19,7	62,7	
			Median	65	-13,4	57,5	

Bilaga 3

Tabell 40. Greppakalkylen för den avvattnade rötresten enligt förutsättningarna

Gröda	Sprid- tidpunkt	Spridar- typ	Spridar teknik	Nedbrukning (timmar)	N- Effekt (%)	Markpack (kr/ton)	Värde * (kr/ton)	Miljöindex
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Vårsådd	Vårb, plöj	Fastgöd,	1-steg stå,	1	70	-9,7	159,7	+
Vårsådd	Vårb, plöj	Fastgöd,	1-steg stå,	4	60	-9,7	151,2	+
Vårsådd	Vårb, plöj	Fastgöd,	1-steg stå,	12	50	-9,7	142,7	+
Vårsådd	Sen höst	Fastgöd,	1-steg stå,	1	50	-14,3	138,1	+
Vårsådd	December	Fastgöd,	1-steg stå,	1	50	-14,3	138,1	+
Höstsäd	Tidig höst	Fastgöd,	1-steg stå,	1	40	-8	135,8	0
Vårsådd	Sen höst	Fastgöd,	1-steg stå,	4	45	-14,3	133,8	0
Vårsådd	December	Fastgöd,	1-steg stå,	4	45	-14,3	133,8	0
Höstsäd	Tidig höst	Fastgöd,	1-steg stå,	4	35	-8	131,6	-
Vårsådd	Sen höst	Fastgöd,	1-steg stå,	12	40	-14,3	129,5	0
Vårsådd	December	Fastgöd,	1-steg stå,	12	40	-14,3	129,5	0
Höstsäd	Tidig höst	Fastgöd,	1-steg stå,	12	30	-8	127,3	-
Vårsådd	Vårbruk	Fastgöd,	1-steg stå,	1	70	-61,5	108	+
Vårsådd	Vårvinter	Fastgöd,	1-steg stå,	1	60	-61,5	99,4	+
Vårsådd	Vårbruk	Fastgöd,	1-steg	4	60	-61,5	99,4	+
Vårsådd	Vårvinter	Fastgöd,	1-steg	4	55	-61,5	95,2	+
Vårsådd	Vårvinter	Fastgöd,	1-steg	12	50	-61,5	90,9	+
				medel	50	-28	124,1611	
				median	50	-14	130	

Bilaga 4. Energiposter och miljöpåverkan från ett ton rötrest som ersätter biogas i Karlskoga.

Tabell 41. rötresten sprids obehandlad på åkermark, per ton rötrest

Rötresten sprids obehandlad till åker.					
	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	Försurning [g SO ₂]	Övergödning [g PO ₄ ⁻³]	Energi [kWh]
Transport	5,11	5,12	35,97	0,08	18,29
Spridning	1,24	1,25	8,76	1,57	4,45
Spridningsförluster	13,71	12,39	1594,71	296,89	0,00
Ersatt mineralgöd.	27,47	27,43	98,34	23,40	72,71
Summa	-7,40	-8,68	1541,10	275,13	-49,97

Tabell 42. Rötrest avvattnas och sprids på åkermark, per ton rötrest

Rötresten avvattnas innan den sprids på åker.					
	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	Försurning [g SO ₂]	Övergödning [g PO ₄ ⁻³]	Energi [kWh]
Marginalel					
Transporter	1,50	1,50	10,53	1,88	5,36
Spridning	1,39	1,40	9,82	1,75	4,99
Avvattning	8,21	6,19	0,00	0,00	5,11
HNO ₃	41,74	44,28	19,13	1,18	57,46
Spridningsförluster	13,52	12,21	576,41	107,31	0,00
Strippning	5,09	3,84	0,00	0,00	3,17
Ersatt min.gödsel	10,72	10,76	46,06	11,46	28,24
Producerat NH₄NO₃	42,45	41,89	73,67	22,14	106,14
Summa	18,29	16,76	496,17	78,53	-58,31
Medelel					
Transporter	1,50	1,50	10,53	1,88	5,36
Spridning	1,39	1,40	9,82	1,75	4,99
Avvattning	0,52	0,62	0,00	0,00	5,11
HNO ₃	41,74	44,28	19,13	1,18	57,46
Spridningsförluster	13,52	12,21	576,41	107,31	0,00
Strippning	0,32	0,39	0,00	0,00	3,17
Ersatt min.gödsel	10,72	10,76	46,06	11,46	28,24
Producerat NH₄NO₃	42,45	41,89	73,67	22,14	106,14
Summa	5,84	7,75	496,17	78,53	-58,31

Tabell 43

rötresten avvattnas strippas torkas och bränns istället för torv i värmeverk.

marginalel	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	Försurning [g SO ₂]	Övergödning [g PO ₄ ⁻³]	Energi [kWh]
Avvattning	8,21	6,19	0,00	0,00	5,11
Strippning	5,09	3,84	0,00	0,00	3,17
Torkning	83,08	62,62	0,00	0,00	51,70
HNO₃	41,74	44,28	19,13	1,18	57,46
Ersatt torv	69,01	64,49	0,14	0,01	185,49
Producerat NH₄NO₃	42,45	41,89	73,67	22,14	106,14
Summa	26,67	10,54	-54,68	-20,96	-174,20
Medelel					
Avvattning	0,52	0,62	0,00	0,00	5,11
Strippning	0,32	0,39	0,00	0,00	3,17
Torkning	5,27	6,31	0,00	0,00	51,70
HNO ₃	41,74	44,28	19,13	1,18	57,46
Ersatt torv	69,01	64,49	0,14	0,01	185,49
Producerat NH₄NO₃	42,45	41,89	73,67	22,14	106,14
Summa	-63,60	-54,79	-54,68	-20,96	-174,20

Tabell 44

Ett ton rötrest avvattnas och torkas, ett ton ersätter ca 33 Nm³ uppgraderad biogas energimässigt.

marginalel	GWP 100 [kg CO ₂]	GWP 20 [kg CO ₂]	Försurning [g SO ₂]	Övergödning [g PO ₄ ⁻³]	Energi kWh
Avvattning	8,2	6,2	10,5	1,9	5,1
Strippning	5,1	3,8	3,3	0,2	3,2
Torkning el	83,1	62,6	0,1	0,0	51,7
torkning spillvärme					
torkning ånga					137,9
HNO ₃	41,4	43,9	1,2	19,0	57,0
Utsläpp från fordonsgas	8,4	22,8	21,0	3,9	
Gasuppgradering*	21,6	16,3	0,0	0,0	13,5
ersatt NH₄NO₃	33,4	32,9	57,9	17,4	83,4
ersatt fossilt bränsle	94,6	94,5	281,3	46,6	
summa	39,9	28,3	-303,2	-39,0	184,9

*uppgradering(Kryoteknik) energiförbrukning är ca 0,4 kWh/Nm³ gas enligt Hans Kättström, Scandinavian GtS.

Bilaga 5. Övergödning från rening av rektvatten. Baserat på reningsverket i Aggerud Miljörapport 2007, samt emissionsdeklaration för miljörapporten. Utgångspunkten är att reningen av rektvattnet kommer att kunna renas till samma nivå som nuvarande utgående avloppsvatten.

Aggeruds reningsverk (Karlskoga)

utgående avloppsvatten	7828970,0000
---------------------------	--------------

Gränsvärden (Årsmedelvärde)

P	0,0003 kg/m ³
---	--------------------------

BOD	0,0100 kg/m ³
-----	--------------------------

kvoten COD/BOD brukar för kommunalt avloppsslam vara 2-3..

COD alltid större än BOD. (Moraeus 2004)

antaganden:

COD~ 2,5*BOD

Aggeruds utsläpp till vatten enligt emissionsdeklaration

kg/m³

tot-P	1918,0000 kg/år	0,0002
-------	-----------------	--------

tot-N	134,4000 t/år	0,0172
-------	---------------	--------

NH ₄ -N	103,7000 t/år	0,0132
--------------------	---------------	--------

BOD	40,1000 t/år	0,0051
-----	--------------	--------

Flöde rektvatten Karlskoga (maximalt)	1500
---------------------------------------	------

på 333 driftsdagn	499500
-------------------	--------

med samma mängder P, N och COD som i avloppsvattnet

miljörapport	gränsvärde
--------------	------------

tot-P	122,3713 kg/år	149,8
-------	----------------	-------

tot-N	8574,9211
-------	-----------

NH ₄ -N	6616,2152
--------------------	-----------

BOD	2558,4400	4995
-----	-----------	------

EP -faktor (Baumann & Tillmann
2004)

per ton rötrest:

kg/ton rötrest

tot-P	0,0003	3,06 (för P)
-------	--------	--------------

tot-N	0,0189	0,42 (N)
-------	--------	----------

NH ₄ -N	0,0146	0,33
--------------------	--------	------

BOD	0,0110
-----	--------

COD ~	0,0276	0,022
-------	--------	-------

EP/ton rötrest	0,0083 kg PO ₄ (-3) ekv.
----------------	-------------------------------------

utgående från gränsvärde för P och BOD, men N och NH₄-N samma nivå som verkliga utsläpp från Aggerud.

Energiinnehåll SS-ISO 1928

Kalorimetriskt värmevärde

BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Leverans tillstånd	1,272 MWh/ton
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Leverans tillstånd	1094 Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Leverans tillstånd.	1969 BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Leverans tillstånd	4,579 MJ/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Torrt prov	5,255 MWh/ton
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Torrt prov	4522 Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Torrt prov.	8135 BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Torrt prov	18,922 MJ/kg

Effektivt värmevärde

BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Lev.tillstånd	0,67 MWh/ton
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Torrt prov	4,891 MWh/ton
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck tp askfritt	5,701 MWh/ton
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Lev.tillstånd	577 Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Torrt prov	4210 Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck tp askfritt	4906 Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Lev.tillstånd.	1037 BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Lev.tillstånd	2,413 MJ/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Torrt prov.	7572 BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck Torrt prov	17,613 MJ/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck tp askfritt.	8825 BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant tryck tp askfritt	20,528 MJ/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym Lev.tillstånd	0,704 MWh/ton

BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	Torrt prov	4,909	MWh/ton
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	tp askfritt	5,721	MWh/ton
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	Lev.tillstånd	606	Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	Torrt prov	4225	Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	tp askfritt	4924	Kcal/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	Lev.tillstånd.	1089	BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	Lev.tillstånd	2,534	MJ/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	Torrt prov.	7599	BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	Torrt prov	17,676	MJ/kg
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	tp askfritt.	8857	BTU/lb
BE001147-07	2007-07-03	PA-0702	Konstant volym	tp askfritt	20,601	MJ/kg

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000